



TUGAS AKHIR - TL141584

PENGARUH SENSITISASI DAN PEMBEBANAN TERHADAP PERILAKU KOROSI RETAK TEGANG PADA BAJA AISI 304 DI BERBAGAI MACAM LINGKUNGAN

RIDHO MA'RUF QULUQ

NRP. 02511440000059

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

DEPARTEMEN TEKNIK MATERIAL

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TUGAS AKHIR - TL141584

**PENGARUH SENSITISASI DAN PEMBEBANAN TERHADAP
PERILAKU KOROSI RETAK TEGANG PADA BAJA AISI 304 DI
BERBAGAI MACAM LINGKUNGAN**

RIDHO MA'RUF QULUQ

NRP. 02511440000059

Dosen Pembimbing

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Departemen Teknik Material

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



FINAL PROJECT - TL141584

**THE EFFECT OF SENSITIZATION AND LOADING ON STRESS
CORROSION CRACKING BEHAVIOUR OF AISI 304 STEEL IN
VARIOUS ENVIRONMENT**

RIDHO MA'RUF QULUQ

NRP. 02511440000059

Advisor

Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Materials Engineering Department

Faculty of Industrial Engineering

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya

2018

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH SENSITISASI DAN PEMBEBANAN
TERHADAP PERILAKU KOROSI RETAK TEGANG
PADA BAJA AISI 304 DI BERBAGAI MACAM
LINGKUNGAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Salah Satu Syarat untuk Memperoleh
Gelara Sarjana Teknik Material



Pada

Bidang Studi Korosi dan Kegagalan Material
Departemen Teknik Material
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Ridho Ma'ruf Quluq
NRP. 02511440000059

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir

1. Budi Agung K, S.T., M.Sc.  (Pembimbing 1)
2. Tubagus Noor R, S.T., M.Sc.  (Pembimbing 2)



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PENGARUH SENSITISASI DAN PEMBEBANAN
TERHADAP PERILAKU KOROSI RETAK TEGANG
BAJA AISI 304 DI BERBAGAI MACAM LINGKUNGAN**

Nama : Ridho Ma'ruf Quluq
NRP : 02511440000059
Jurusan : Departemen Teknik Material
Pembimbing : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Abstrak

AISI 304 rentan terhadap korosi retak tegang di lingkungan yang mengandung klorida dan sulfat. Penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku korosi baja AISI 304 pada media HCl, H₂SO₄, dan Na₂S₂O₃ dengan sensitisasi dan variasi beban. Kondisi sensitisasi didapatkan dengan memanaskan AISI 304 pada 800°C kemudian diikuti pendinginan lambat. Pembebanan dilakukan dengan metode *U-bend* dengan beban 0.6 dan 0.8 σ_y . Didapatkan hasil bahwa sensitisasi pada AISI 304 menyebabkan korosi jenis pitting, korosi seragam tak beraturan dan korosi batas butir pada elektrolit HCl. Kemudian korosi seragam dan korosi batas butir pada elektrolit H₂SO₄. Tidak terdapat korosi pada elektrolit Na₂S₂O₃. Resiko terjadinya korosi pada HCl dan H₂SO₄ meningkat dengan meningkatnya pembebanan. Pada elektrolit HCl, ditemukan produk korosi berupa FeCl₂ dan Fe₃O₄. Setelah imersi AISI 304 kondisi sensitisasi menurun kekerasannya di batas butir. Besar diameter rata-rata pit yang terbentuk di permukaan AISI 304 meningkat dengan kondisi sensitisasi ditambah meningkatnya pembebanan. Pada elektrolit H₂SO₄, AISI 304 kondisi sensitisasi ditemukan produk korosi berupa Fe₃O₄, Fe₂O₃ dan FeSO₄.4H₂O. Setelah imersi AISI 304 kondisi sensitisasi menurun kekerasannya di batas butir. Pada elektrolit Na₂S₂O₃, AISI 304 tidak ditemukan adanya produk korosi dan ditemukan Cr₂O₃ di permukaan. AISI 304 kondisi sensitisasi meningkat kekerasannya.

Kata kunci: AISI 304, HCl, H₂SO₄, Na₂S₂O₃, Pembebanan, Sensitisasi, Perilaku Korosi

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

THE EFFECT OF SENSITIZATION AND LOADING ON STRESS CORROSION CRACKING BEHAVIOUR OF AISI 304 STEEL IN VARIOUS ENVIRONMENT

Name : Ridho Ma'ruf Quluq
NRP : 02511440000059
Department : Departemen Teknik Material
Advisor : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.
Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc.

Abstract

AISI 304 is generally susceptible to stress corrosion cracking in environment containing chlorides and sulfates. This study was conducted to study the corrosion behavior of AISI 304 steel on HCl, H₂SO₄, and Na₂S₂O₃ media with sensitization and load variation. The sensitization conditions were obtained by heating AISI 304 at 800°C and then followed by slow cooling. The loading is done by U-bend method with load of 0.6 and 0.8 σ_y. The results showed that sensitization in AISI 304 caused pitting corrosion, uniform corrosion and intergranular corrosion in HCl electrolyte. Then sensitization caused uniform corrosion and intergranular corrosion in the H₂SO₄ electrolyte. Then there is no corrosion on the Na₂S₂O₃ electrolyte. The risk of corrosion on HCl and H₂SO₄ increases with increasing loading. In the HCl electrolyte, corrosion products of FeCl₂ and Fe₃O₄ were found. After immersion AISI 304 sensitization conditions has decreased hardness at grain boundaries. The average pit diameter formed on the surface of AISI 304 increases with the sensitization conditions and the increase in loading. In the H₂SO₄ electrolyte, AISI 304 sensitization condition was found to be Fe₃O₄, Fe₂O₃ and FeSO₄.4H₂O as corrosion product. After Immersion AISI 304 sensitization conditions has decreased hardness at grain boundaries. In the Na₂S₂O₃ electrolyte, on AISI 304 Cr₂O₃ was found on the surface. After immersion AISI 304 sensitization conditions have increased hardness at grain boundaries.
Keywords: AISI 304, Corrosion Behaviour HCl, H₂SO₄, Loading, Na₂S₂O₃, Sensitization

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr.Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat, anugerah, serta karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir pada Departemen Teknik Material FTI-ITS yang berjudul *“Pengaruh Sensitisasi dan Pembebanan terhadap Perilaku Korosi pada Baja AISI 304 di Berbagai Macam Lingkungan”* Tugas Akhir ini disusun untuk melengkapi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberi dukungan, bimbingan, dan kesempatan kepada penulis hingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.

1. Allah SWT karena dengan rahmat dan kuasa-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini dengan baik dan tepat waktu.
2. Orang tua Penulis, Bapak Rokhmat dan Ibu Siti Faulina yang telah mendukung penulis baik secara materiil maupun non-materiil melalui doa, motivasi dan semangat yang tak ternilai harganya.
3. Bapak Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing tugas akhir dan telah memberikan ilmu, bimbingan serta wawasan kepada penulis.
4. Bapak Tubagus Noor Rohmannudin, S.T., M.Sc. selaku dosen copembimbing tugas akhir penulis yang telah memberikan arahan saat menulis Tugas akhir ini.
5. Ibu Dr. Diah Susanti, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji pada ujian tugas akhir saya.
6. Bapak Fakhreza Abdul, S.T., M.T. selaku dosen penguji pada ujian tugas akhir saya.

7. Ibu Dr. Widyastuti, S.Si., M.Si. selaku Dosen Wali penulis pada Departemen Teknik Material FTI-ITS.
8. Bapak Dr. Agung Purniawan, ST., M.Eng. selaku Ketua Departemen Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
9. Saudara Anugrah Firsadin yang telah membantu dan menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir.
10. Teman-teman Laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan yang telah menemani penulis selama melaksanakan kegiatan tugas akhir.
11. Saudara Habiyo Rafli, Fauzan Kurniawan, Ido Widya A.K.A Ambis Team yang telah membantu dan menemani penulis “sinau bareng” selama menjadi mahasiswa.
12. Saudara Bayu Yudha dan Isrouf yang menemani penulis melaksanakan KP.
13. Dosen dan karyawan yang telah membantu penulis untuk menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI-ITS.
14. Teman-teman MT 16 yang selalu membantu penulis dengan baik.
15. Serta seluruh pihak yang telah memberikan partisipasi atas penulisan tugas akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak yang membaca. Penulis juga menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini, sehingga penulis sangat menerima kritik dan saran dari para pembaca yang dapat membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Desember 2017
Penulis,

Ridho Ma'ruf Quluq
02511440000059

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Paduan	5
2.1.1.1 Baja Tahan Karat	5
2.1.1.2 Baja Tahan Karat AISI 304.....	8
2.2 Sensitisasi	9
2.3 Korosi	12
2.4 Korosi Retak Tegang	13
2.4.1 Morfologi Perpatahan SCC	15
2.4.2 Mekanisme SCC	17
2.5 Mekanisme Inisiasi Pit	18
2.6 Asam Klorida.....	20
2.6.1 Penggunaan Asam Klorida.....	21
2.6.2 Reaksi Kimia Asam Klorida dengan Baja Tahan Karat Austenitik	21
2.7 Asam Sulfat.....	23
2.7.1 Penggunaan Asam Sulfat	23
2.7.2 Reaksi Kimia Asam Sulfat dengan Baja Tahan Karat Austenitik	23
2.8 Sodium Thiosulfat.....	24
2.8.1 Penggunaan Sodium Thiosulfat	24

2.8.2	Reaksi Kimia Asam Sulfat dengan Baja Tahan Karat Austenitik	25
2.9	Diagram Potensial-pH	25
2.10	Metode Pengujian Korosi Retak Tegang Menggunakan <i>U-Bend</i>	26
2.11	Pengaruh Tegangan Tarik Terhadap Perusakan Lapisan Film	28
2.12	Penelitian Sebelumnya Mengenai Korosi Retak Tegang	29
2.12.1	SCC di Lingkungan HCl	29
2.12.2	SCC di Lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃	30
2.12.3	SCC di Lingkungan H ₂ SO ₄ dengan Sensitisasi	31
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir Penelitian	33
3.2	Metode Perancangan	35
3.3	Alat dan Bahan Percobaan	35
3.3.1	Alat Percobaan	35
3.3.2	Bahan Percobaan	36
3.4	Prosedur Penelitian	36
3.4.1	Pengujian Spektrometri	36
3.4.2	Pengujian Tarik	37
3.4.3	Preparasi Larutan Elektrolit	44
3.4.4	Preparasi Larutan Etsa	44
3.4.5	Pengujian	45
3.4.5.1	Pengujian <i>Immerse</i>	45
3.4.5.2	Pengujian Makro Visual	45
3.4.5.3	Pengujian <i>X-Ray Diffraction</i>	47
3.4.5.4	Pengujian Mikro Visual	48
3.4.5.5	Pengujian <i>Scanning Electron Microscope</i>	50
3.4.5.6	Pengujian <i>Microhardness</i>	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Hasil	53
4.1.1	Hasil Pengujian Spektrometri	53
4.1.2	Hasil Pengujian AISI 304 di Lingkungan HCl 1M.	54

4.1.2.1	Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304 di Lingkungan HCl 1M	54
4.1.2.2	Hasil Pengujian Mikro Visual AISI 304 di Lingkungan HCl 1M	56
4.1.2.3	Hasil Pengujian SEM AISI 304 di Lingkungan HCl 1M	57
4.1.2.4	Hasil Pengujian XRD AISI 304 di lingkungan HCl 1M	58
4.1.2.5	Hasil Pengujian <i>Microhardness</i> AISI 304 di Lingkungan HCl 1M	59
4.1.3	Hasil Pengujian AISI 304 di Lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	60
4.1.3.1	Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304 di Lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	60
4.1.3.2	Hasil Pengujian Mikro Visual AISI 304 di Lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	61
4.1.3.3	Hasil Pengujian SEM AISI 304 di Lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	62
4.1.3.4	Hasil Pengujian XRD AISI 304 di lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	63
4.1.3.5	Hasil Pengujian <i>Microhardness</i> AISI 304 di Lingkungan H ₂ SO ₄ 1M	64
4.1.4	Hasil Pengujian AISI 304 di Lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	65
4.1.4.1	Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304 di Lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	65
4.1.4.2	Hasil Pengujian Mikro Visual AISI 304 di Lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	66
4.1.4.3	Hasil Pengujian SEM AISI 304 di Lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	67
4.1.4.4	Hasil Pengujian XRD AISI 304 di lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	68
4.1.4.5	Hasil Pengujian <i>Microhardness</i> AISI 304 di Lingkungan Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	69
4.2	Pembahasan	70

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan 75

5.2 Saran 76

DAFTAR PUSTAKA xviii

LAMPIRAN..... xxii

BIOGRAFI PENULIS xxxvi

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Kelarutan karbon pada 18-10 baja tahan karat austenitic	11
Gambar 2.2	Pengaruh Temperatur dan Kandungan Karbon terhadap waktu presipitasi Cr_{23}C_6	11
Gambar 2.3	Penurunan kadar kromium pada austenit di sekitar batas butir akibat presipitasi karbida	12
Gambar 2.4	Tiga Faktor Penyebab SCC	14
Gambar 2.5	Skema kurva polarisasi anoda menunjukkan zona potensial SCC yang sering terjadi pada material yang mampu membentuk film pasif seperti baja tahan karat	15
Gambar 2.6	Jenis dari SCC: (a) Transgranular (b) Intergranular	16
Gambar 2.7	Kurva potensiokinetik polarisasi dan nilai Potensial elektroda pada saat intergranular dan transgranular SCC terjadi pada 10% NaOH 288 °C. (a) paduan 600. (b) paduan 800. (c) AISI 304	16
Gambar 2.8	Mekanisme Penetrasi Inisiasi <i>Pit</i>	18
Gambar 2.9	Mekanisme <i>Film Rupture</i> Inisiasi <i>Pit</i>	18
Gambar 2.10	Mekanisme Penipisan lapisan film Inisiasi <i>Pit</i> ...	19
Gambar 2.11	Skema Pertumbuhan Pit di dalam Logam	22
Gambar 2.12	Diagram Potensial-pH dari system Cr-H ₂ O dan Fe-H ₂ O pada 25°C	26
Gambar 2.13	Jenis-jenis konfigurasi <i>U-bend</i>	27
Gambar 2.14	Pengaruh Tegangan Tarik Terhadap <i>Critical Chloride Concentration</i> untuk Perusakan Lapisan Film	28
Gambar 2.15	Hasil pengujian AISI 304 pada berbagai konsentrasi HCl pada temperatur ruang. (A.) Korosi <i>pitting</i> pada 0.1 M HCl,	

	waktu ekspos 144 jam. (B.) Transgranular SCC pada 1M HCl, waktu ekspos 48 jam. (C.) Korosi merata tak beraturan pada 3M HCl, waktu ekspos 144 jam. (D.) Transgranular SCC pada 1M HCl, waktu ekspos 72 jam	29
Gambar 2.16	Baja SS 304 disensitisasi direndam dalam Larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$	30
Gambar 2.17	Hasil SEM penampang melintang AISI 304 Kondisi anil setelah pengujian di 0,5 M NaCl dengan 0, 1,5, 3,0 M H_2SO_4	32
Gambar 2.18	Hasil SEM penampang melintang AISI 304 Kondisi sensitisasi setelah pengujian di 0,5 M NaCl dengan 0, 1,5, 3,0 M H_2SO_4	32
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	33
Gambar 3.2	Benda Uji AISI 304 setelah dilakukan Uji Spektroskopi	37
Gambar 3.3	Alat Spektrometer di PT Timur Megah Steel	37
Gambar 3.4	Benda uji Tarik sesuai JIS Z 2201 no.5	38
Gambar 3.5	AISI 304 untuk Uji Tari	38
Gambar 3.6	Alat Uji Tarik	39
Gambar 3.7	Bentuk Benda Uji untuk <i>U-Bend</i>	42
Gambar 3.8	Benda Uji <i>U-Bend</i>	43
Gambar 3.9	<i>Dielectric Heating Furnace</i>	43
Gambar 3.10	Benda Uji yang di- <i>Immerse</i> pada Larutan Elektrolit	45
Gambar 3.11	Mikroskop Stereo Zeiss Stemi DV4	46
Gambar 3.12	Titik Pengamatan pada Pengujian Makro Visual	46
Gambar 3.13	Mesin Uji XRD PANalytical	47
Gambar 3.14	<i>Cross section</i> dari AISI 304 dengan <i>mounting</i> resin	49
Gambar 3.15	Skema Cara Elektroetsa	49
Gambar 3.16	Mikroskop Trinokular Olympus BX51M	50
Gambar 3.17	Daerah pengamatan penampang melintang metalografi pada Uji Mikro Visual	50
Gambar 3.18	Alat Uji SEM INSPECT S50	51

Gambar 3.18	Alat Uji <i>Microhardness</i>	52
Gambar 4.1	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 pada lingkungan HCl 1M, (a) non -sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (b) sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y , (d) sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y pada perbesaran 32x.....	54
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan Diameter <i>Pit</i> Rata-Rata Benda Uji	55
Gambar 4.3	Mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan HCl 1M, (a) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (b) sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y , (d) sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y pada perbesaran 200x	56
Gambar 4.4	Hasil SEM Morfologi Batas Butir AISI 304 yang Kontak dengan HCl 1M perbesaran 2500x	57
Gambar 4.5	Hasil Pengujian XRD pada AISI 304 Sensitisasi Tingkat Pembebanan 0.8 σ_y pada Lingkungan HCl 1M	58
Gambar 4.6	Data Hasil <i>Microhardness</i> AISI 304 setelah Proses imersi pada lingkungan HCl 1M	59
Gambar 4.7	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 pada lingkungan H ₂ SO ₄ 1M, (a) nonsensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (b) sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y , (d) sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y pada perbesaran 32x	60
Gambar 4.8	Mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan H ₂ SO ₄ 1M, (a) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (b) sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (c) non sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y , (d)	

	sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y pada perbesaran 200x	61
Gambar 4.9	Hasil SEM Morfologi Batas Butir AISI 304 yang Kontak dengan H_2SO_4 1M perbesaran 2500x	62
Gambar 4.10	Hasil Pengujian XRD pada AISI 304 NonSensitisasi Tingkat Pembebanan 0.8 σ_y pada Lingkungan H_2SO_4 1M	63
Gambar 4.11	Data Hasil <i>Microhardness</i> AISI 304 setelah Proses imersi pada lingkungan H_2SO_4 1M	64
Gambar 4.12	Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 pada lingkungan $Na_2S_2O_3$ 1M, (a) nonsensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (b) sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y , (d) sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 yield pada perbesaran 32x	65
Gambar 4.13	Mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan $Na_2S_2O_3$ 1M, (a) non-sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (b) sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y , (c) nonsensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y , (d) sensitisasi dengan tingkat beban 0.8 σ_y pada perbesaran 200x	66
Gambar 4.14	Hasil SEM Morfologi Batas Butir AISI 304 yang Kontak dengan $Na_2S_2O_3$ 1M perbesaran 2500x ..	67
Gambar 4.15	Hasil Pengujian XRD pada AISI 304 NonSensitisasi Tingkat Pembebanan 0.8 σ_y pada Lingkungan $Na_2S_2O_3$ 1M	68
Gambar 4.16	Data Hasil <i>Microhardness</i> AISI 304 setelah proses imersi pada lingkungan $Na_2S_2O_3$ 1M	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Kimia Baja AISI 304	9
Tabel 2.2	Sifat mekanik AISI 304	9
Tabel 2.3	Data hasil pengujian yang dilakukan oleh almubarak et al.	30
Tabel 3.1	Data Elektrolit yang digunakan	36
Tabel 3.2	Dimensi Benda Uji Tarik JIS Z 2201 no.5	38
Tabel 3.3	Hasil Pengujian Tarik	39
Tabel 3.4	Perbandingan Data Hasil Uji Tarik dengan Literatur	40
Tabel 3.5	Data Besarnya Regangan Elastis Benda Uji berdasarkan Persentase Yield Stress	40
Tabel 3.6	Hasil Perhitungan Dimensi Benda Uji metode <i>U-Bend</i>	41
Tabel 3.7	Dimensi Benda uji Uji sesuai Tegangan yang diberikan	42
Tabel 3.8	Dimensi Benda Uji <i>U-Bend</i>	42
Tabel 3.9	Rancangan Data Pengujian	52
Tabel 4.1	Komposisi Material Hasil Pengujian <i>Optical</i> <i>Emission Spectrometer</i> (OES)	53

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Logam dikenal karena sifatnya yang ulet dan kuat, membuatnya menjadi material yang paling banyak digunakan di industri. Namun logam sangat rentan mengalami penurunan sifat akibat bereaksi dengan lingkungan sekitar, Fenomena ini disebut korosi (Jones, 1992). Korosi memiliki banyak faktor yang mempengaruhinya seperti pH, temperatur, ion dan gas terlarut (Fontana & Greene, 1978). Salah satu jenis logam yang terkenal adalah baja tahan karat. Baja tahan karat merupakan baja yang tahan terhadap serangan korosi akibat adanya unsur paduan didalamnya, unsur tersebut salah satunya adalah unsur krom. Baja tahan karat memiliki daya tahan korosi yang lebih baik dibandingkan dengan baja karbon pada aplikasi di lingkungan yang korosif. Sifat lain yang dimiliki baja tahan karat adalah ketangguhan yang tinggi dan beberapa tipe mampu toleran terhadap penggunaan pada temperatur tinggi (Suherman, 1999).

Stress Corrosion Cracking (SCC) merupakan salah satu jenis korosi yang menggambarkan keadaan dimana suatu material mengalami kegagalan akibat adanya retak yang diakibatkan oleh lingkungan dipadu dengan adanya tegangan yang relatif kecil (Jones, 1992). Baja tahan karat austenitik pada umumnya rentan terhadap SCC di lingkungan yang mengandung klorida dan sering disebut *chloride stress corrosion cracking* (CSCC). Alat-alat yang terdapat di unit pemurnian minyak seperti *furnace*, tanki, pipa, *valve* sangat rentan terhadap CSCC. Singh (2004) mengidentifikasi total ada 13 kegagalan SCC pada peralatan stainless steel austenitik. Semua kegagalan terjadi pada jenis baja stainless 304, 304L, dan 316L. Kegagalan ini dikaitkan dengan adanya sejumlah besar klorida dalam gas asam basah. H_2SO_4 merupakan zat kimia yang paling banyak diproduksi di dunia, hampir semua industri menggunakan H_2SO_4 seperti industri pupuk, refinery, industri cat, industri ekstraksi dan industri alat ledak (Fontana & Greene, 1978).



$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ digunakan dalam penghilang klor pada industri kertas (Laitinen, 1999). Penelitian sebelumnya dari Bianchi, et al (1972), Abd Razak, et al (2014) dan Laitinen (1999) yang melakukan penelitian tentang perilaku SCC pada AISI 304 di lingkungan HCl , H_2SO_4 dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ pada berbagai macam konsentrasi tanpa mempertimbangkan pengaruh dari variasi tingkat pembebanan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari perilaku korosi retak tegang pada baja AISI 304 pada media HCl , H_2SO_4 , dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, dengan sensitisasi dan variasi pembebanan sehingga dapat digunakan sebagai salah satu referensi di masa depan

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh sensitisasi dan pembebanan terhadap perilaku korosi retak tegang baja AISI 304 pada media HCl , H_2SO_4 dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$
2. Bagaimana pengaruh jenis elektrolit terhadap perilaku korosi retak tegang baja AISI 304

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini menjadi terarah dan memberikan kejelasan analisa permasalahan, maka dilakukan pembatasan permasalahan yaitu:

1. Material dianggap homogen.
2. Larutan elektrolit yang digunakan dianggap homogen.
3. Nilai pH, temperatur, volume, dan tekanan dianggap konstan selama proses pengujian.
4. Pengaruh yang dihasilkan dari proses persiapan benda uji seperti proses grinding diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan yang telah disebutkan, maka tujuan penelitian ini antara lain:



1. Menganalisa pengaruh sensitisasi dan pembebanan terhadap perilaku korosi pada baja AISI 304 pada media HCl, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dan H_2SO_4 .
2. Menganalisa pengaruh jenis elektrolit terhadap perilaku korosi baja AISI 304

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang pengaruh sensitisasi dan pembebanan pada perilaku korosi baja AISI 304 pada lingkungan HCl, H_2SO_4 dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ yang merupakan kegagalan yang sering dijumpai pada industri pengolahan zat kimia seperti *oil refinery* dan *petrochemical*. Sehingga dapat digunakan sebagai salah satu referensi saat menggunakan baja tahan karat untuk menghadapi korosi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Baja

Menurut komposisi kimianya baja dapat di bagi menjadi dua yaitu: Baja karbon dan baja paduan. Baja karbon bukan berarti baja yang sama sekali tidak mengandung unsur lain, selain besi dan karbon. Baja karbon mengandung sejumlah unsur lain tetapi masih dalam batas-batas tertentu yang tidak berpengaruh terhadap sifatnya. Unsur-unsur ini biasanya merupakan ikatan yang berasal dari proses pembuatan besi atau baja seperti mangan, silikon, dan beberapa unsur pengotor seperti belerang, oksigen, nitrogen, dan lain-lain yang biasanya ditekan sampai kadar yang sangat kecil (Aini, 2016).

2.1.1 Baja Paduan

Baja merupakan paduan yang terdiri dari besi (Fe), karbon (C), dan unsur paduan lainnya. Unsur karbon (C) merupakan salah satu unsur yang terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Baja paduan merupakan baja yang dipadu dengan unsur lain seperti ; Nikel (Ni), Silikon (Si), Molybdenum (Mo), Mangan (Mn), Krom (Cr) dengan tujuan untuk meningkatkan sifat dan karakterisasi mekanik dari baja tersebut. Oleh karena dipadu, sifat dan karakterisasinya pun tergantung pada unsur paduan dan komposisinya. Misalnya; untuk mendapatkan resistansi yang baik terhadap korosi, baja dapat dipadu dengan unsur Krom (Cr) dan sering disebut dengan baja tahan karat. Baja merupakan logam yang paling banyak digunakan dalam bidang teknik dalam bentuk pelat, lembaran, pipa, batang dan sebagainya, hal tersebut yang mendorong terciptanya teori paduan baru pada baja (Yakub & Nofri, 2013)

2.1.1.1 Baja Tahan Karat

Baja Tahan karat (*stainless steel*) sebenarnya adalah baja paduan dengan kadar paduan tinggi (*high alloy steel*) dengan sifat



istimewa yaitu tahan terhadap korosi dan temperatur tinggi. Sifat tahan korosinya diperoleh dari lapisan oksida (terutama krom) yang sangat stabil yang melekat pada permukaan dan melindungi baja terhadap lingkungan yang korosif. Pada beberapa jenis baja tahan karat juga terjadi lapisan oksida nikel. Efek perlindungan oksida krom ini tidak efektif pada baja paduan dengan kadar chrom rendah, efek ini mulai tampak nyata pada kadar krom tidak kurang dari 10%. (Suherman, 1999)

Berdasarkan strukturnya baja tahan karat dapat dibagi menjadi tiga kelompok, setiap kelompok baja tahan karat cocok digunakan untuk aplikasi yang berbeda. Berikut merupakan 3 kelompok baja tahan karat yang utama yaitu :

1. Baja tahan karat ferritik

Baja tahan karat ferritik adalah baja chrom yang memiliki kadar kromium lebih tinggi (14-27%), dan kadar karbon lebih rendah. Dalam kelompok ini dikenal tipe 405, 430, dan 446. Baja tahan karat ini memiliki sifat-sifat sebagai berikut: tidak dapat dikeraskan dengan laku panas (*non hardenable*), namun dapat menjadi keras dengan cold work (work hardens), magnetik, dapat di cold work maupun hot work. Keuletan dan sifat tahan korosi yang paling tinggi akan dicapai saat kondisi annealed. Dalam kondisi ini kekuatannya kira-kira 50% lebih tinggi dari baja karbon, terhadap kelompok martensitik, kelompok ferritik lebih unggul dalam sifat tahan korosi dan machinability. Karena mudah dibentuk, banyak digunakan sebagai barang-barang yang dibuat dengan deep-drawing seperti alat industri kimia dan makanan dan benda arsitektural dan beberapa hiasan pada bagian mobil.

2. Baja tahan karat austenitik

Kelompok ini terdiri dari baja chrom-nickel (seri 3xx) dan baja chrom-nickel-mangan (seri 2xx). Jumlah kadar chrom dan nickel tidak kurang dari 23%. Berstruktur austenitik, non magnetik, non hardenable. Mudah dihot-work, tetapi agak sulit dicold-work karena dapat mengalami work-hardening cukup hebat. Dalam keadaan cold work baja ini menjadi sedikit magnetik. Cold working dapat memberikan sifat mekanik yang sangat bervariasi



tergantung pada tingkat deformasi yang dialami. Kelompok baja ini mempunyai sifat *shock resistant* yang tinggi, dan juga sulit di machining, kecuali yang mengandung sulfur atau selenium. Sifat tahan korosinya paling baik diantara ketiga jenis baja tahan karat, juga kekuatan pada temperatur tinggi dan sifat tahan terhadap *scalling* sangat baik. Pada pengelasan baja ini sering mengalami prepitasi karbida kromium (terjadinya presipitasi karbida krom menurunkan sifat tahan korosi dan dapat mendorong terjadinya korosi yang sangat berbahaya, yaitu korosi batas butir (Suherman, 1999).

3. Baja tahan karat austenitik

Pada dasarnya baja ini adalah baja chrom dengan 11,5-18% kromium. Baja ini sering digunakan untuk turbin blade dan benda tuangan tahan korosi. Yang termasuk dalam kelompok ini antara lain type 403, 410, 416, 420, 440A, 501, dan 502. Kelompok baja tahan karat ini bersifat magnetik, dapat dikeraskan, dapat di coldwork dengan mudah, terutama yang memiliki kadar karbon rendah, machinability cukup baik, ketangguhan baik, juga dapat dihot-work dan memperlihatkan sifat tahan korosi terhadap cuaca dan beberapa chemical yang cukup baik. Sifat tahan korosinya akan paling baik bila dalam kondisi dikeraskan, tetapi masih belum sebaik sifat tahan korosi dari kelompok ferritik dan austenitik.

4. Baja tahan karat presipitasi hardening

Baja tahan karat yang mengalami pengerasan presipitasi. Baja ini pada dasarnya adalah baja paduan chrom nickel dengan tambahan beberapa unsur lain. Baja ini keluar dari pabrik biasanya sudah dalam keadaan solution-annealed. Kemudian setelah dibentuk dilakukan aging untuk menaikkan kekerasan dan kekuatannya. Aging dilakukan dengan pemanasan pada temperatur 480-620°C, didinginkan di udara, untuk menimbulkan efek presipitasi. Dengan aging ini martensit akan mengalami tempering. Temperatur aging yang lebih rendah akan memberikan kekerasan dan kekuatan lebih tinggi tetapi keuletan lebih rendah. Baja ini hendaknya tidak digunakan pada kondisi solution-treated karena



keuletannya rendah dan ketahanan terhadap stress corrosion cracking jelek.

5. Baja tahan karat duplex

Kelompok duplex memiliki mikrostruktur ferritik dan austenitik, dengan kesetimbangan fasa 50% ferrit dan 50% austenit. Kelompok Duplex merupakan kombinasi banyak sifat baik dari baja tahan karat ferritik dan austenitik. Mikrostruktur duplex berkontribusi untuk memberikan sifat kekuatan tinggi dan ketahanan terhadap *Stress Corrosion Cracking* yang tinggi. Ciri-ciri baja tahan karat duplex adalah kandungan kromium yang tinggi (20,1-25,5%), namun memiliki kandungan nikel yang rendah dibandingkan dengan kelompok austenitik (1,4-7%). Rendahnya kandungan nikel membuat baja tahan karat duplex memiliki harga yang lebih murah. Molybdenum (0,3-4%) dan nitrogen ditambahkan untuk meningkatkan ketahanan korosi dan kesetimbangan mikrostruktur. Nitrogen juga meningkatkan kekuatan. Mangan juga ditambahkan pada beberapa tipe sebagai pengganti dari nikel, namun mangan juga meningkatkan kelarutan nitrogen dalam material.

2.1.1.2 Baja tahan karat AISI 304

Salah satu jenis baja stainless austenitic adalah AISI 304. Baja austenitic ini mempunyai struktur kubus satuan bidang (*face centered cubic*) dan merupakan baja dengan ketahanan korosi tinggi. Komposisi unsur – unsur pepadu yang terkandung dalam AISI 304 akan menentukan sifat mekanik dan ketahanan korosi. Baja AISI 304 mempunyai kadar karbon sangat rendah 0,08%wt. Kadar kromium berkisar 18-20%wt dan nikel 8-10,5%wt yang terlihat pada Tabel 2.1. Kadar kromium cukup tinggi membentuk lapisan Cr_2O_3 yang protektif untuk meningkatkan ketahanan korosi.



Tabel 2.1 Komposisi Kimia Baja AISI 304

Unsur	Wt%
Cr	18-20
Ni	8-10.5
Mn	Max 2.00
Si	Max 0.75
C	Max 0.08
P	Max 0.055
S	Max 0.03
Mo	-
Fe	Balance

Komposisi kandungan unsur dalam baja AISI 304 tersebut diperoleh sifat mekanik material yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sifat mekanik AISI 304

Poison	Tensile	Yield	Elong	Hard	Mod	Density
0,27- 0,30	515	205	40	88	193	8

Keterangan:

Poison : Rasio Poison
Tensile : Tensile Strength (MPa)
Yield : Yield Strength (MPa)
Elong : Elongation %
Hard : Kekerasan (HVN)
Mod : Modulus Elastisitas (GPa)
Density : Berat jenis (Kg/m^3)

(ASTM, 2004)

2.2 Sensitisasi

Sensitisasi adalah proses berlangsungnya presipitasi unsur karbon dan membentuk senyawa karbon karbida di batas butir baja tahan karat austeniti selama dioperasikan pada temperatur tinggi yaitu pada rentang 450°C hingga 850°C . Pemanasan pada temperatur sensitisasi menyebabkan atom-atom C posisi intertisi yang awalnya di dalam butiran bebas berdifusi dan cenderung



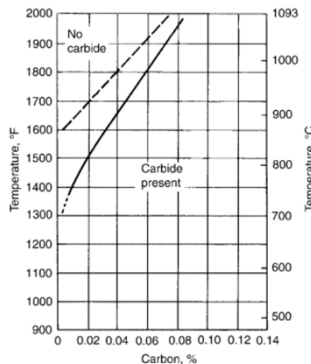
menuju ke batas butir. Namun, atom-atom Cr berbeda, pada posisi substitusi, atom-atom Cr tidak begitu bebas berdifusi selama baja dioperasikan pada temperatur tinggi. Atom-atom C yang berada di batas butir membentuk senyawa krom karbida (mayoritas senyawa Cr_{23}C_6). Berdasarkan ikatan kimia senyawa krom karbida ini, satu atom C mengikat hampir empat atom Cr, dan atom-atom C di batas butir mengikat atom-atom Cr disekitarnya. Akibatnya, di daerah sekitar batas butir, kandungan Cr menjadi berkurang. Kandungan Cr di antar butir turun hingga sampai kurang lebih 2%. (Saefudin, 2008).

Kelarutan karbon di austenit sekitar 0,006% pada temperatur kamar. Namun, baja tahan karat austenitik umumnya mengandung sekitar 0,05% karbon. Karena kromium memiliki afinitas tinggi untuk karbon, sehingga selalu ada kecenderungan yang kuat pembentukan karbida krom. Selama pendinginan normal yang dihadapi selama fabrikasi baja tahan karat (misal Pengelasan, *hot work* dll.), Karbida kromium dapat diendapkan, membuat baja rentan terhadap IGC (*Intergranular Corrosion*) dan IGSCC (*Intergranular Stress Corrosion Cracking*). Untuk alasan ini, baja tahan karat austenitik umumnya dikenai perlakuan larutan antara 1050 °C-1150°C yang membuat karbida serta beberapa fase intermetalik lainnya kembali pada kondisi larutan. Kondisi ini dipertahankan dengan pendinginan dari temperatur anil (1000 °C-1100 °C) hingga temperatur kamar memaksa unsur-unsur pembentukan karbida dan fasa antar logam untuk tetap berada dalam larutan padat dengan pendinginan cepat. (Parvathavarthini, 2002).

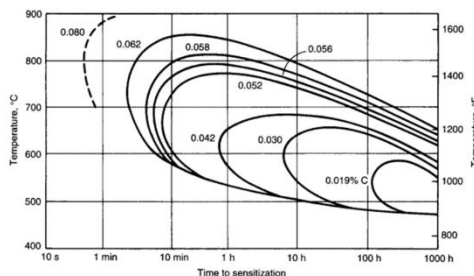
Diagram ekuilibrium untuk karbon dalam paduan 10%Ni 18%Cr ditunjukkan pada Gambar 2.1. Pada temperatur kamar, sangat sedikit karbon larut dalam austenit; Bahkan 0,03% pada grade L kebanyakan berada pada larutan jenuh. Tidak adanya karbida dalam baja tahan karat austenitik disebabkan oleh difusi karbon yang lambat dan difusi kromium yang lebih lambat di austenit. Pada tingkat karbon 0,06%, yang ditemukan pada kebanyakan 304, supersaturasi dicapai di bawah 850°C. Di bawah



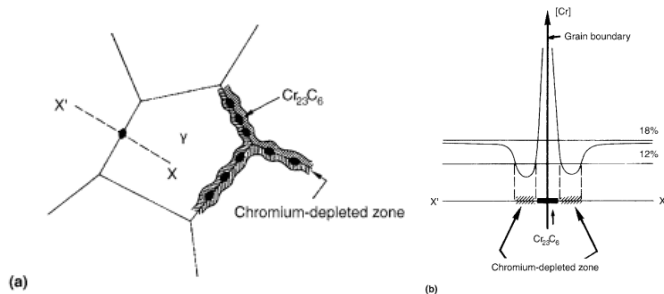
temperatur ini, saturasi meningkat secara eksponensial, sementara difusi menurun secara eksponensial. Hal ini menghasilkan waktu presipitasi yang bervariasi dengan temperatur dan tingkat karbon seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. Pada temperatur ini, difusi batas butir jauh lebih cepat daripada difusi butir, dan batas butir memberikan lokasi nukleasi yang sangat baik, sehingga terjadi presipitasi sepanjang batas butir. Karena karbon berdifusi lebih cepat daripada kromium, karbon berdifusi dan bergabung dengan kromium secara in situ, menghabiskan batas butir kromium dalam larutan. (McGuire, 2008)



Gambar 2.1. Kelarutan karbon pada 18-10 baja tahan karat austenitic (McGuire, 2008)



Gambar 2.2. Pengaruh temperatur dan kandungan karbon terhadap waktu presipitasi Cr_{23}C_6 (McGuire, 2008)



Gambar 2.3. Penurunan kadar kromium pada austenit di sekitar batas butir akibat presipitasi karbida (McGuire, 2008)

Gambar 2.3. menunjukkan bahwa penurunan kadar kromium lokal pada daerah batas butir bisa menjadi cukup rendah sehingga daerah sekitar batas butir tidak cukup kromium untuk menjadikan baja sebagai *stainless* dan tentunya ketahanan korosi jauh lebih rendah daripada daerah sekitarnya. Daerah ini, karena memiliki kadar kromium yang rendah memiliki austenit yang tidak stabil sehingga cukup rentan terhadap pembentukan martensit. (McGuire, 2008)

2.3 Korosi

Korosi merupakan proses degradasi sifat material disebabkan reaksi dengan lingkungannya. Korosi sebagai suatu reaksi elektrokimia yang memberikan kontribusi kerusakan fisik suatu material secara signifikan sehingga perlu perhatian untuk mencegah dan meminimalisasi kerugian yang timbul akibat efek korosi (Fontana & Greene, 1978). Jumlah logam dan paduannya merupakan fungsi dari lingkungan sehingga saling mempengaruhi kedua parameter tersebut antara lain lingkungan air tawar, air laut, tanah, air laut (Callister & Rethwisch, 2014)

Pendekatan korosi secara umum melibatkan sifat material antara lain sifat fisik, mekanik dan kimia. Pendekatan lainnya juga mempertimbangkan struktur logam, sifat lingkungan sekitar dan



reaksi antara antar permukaan logam dan lingkungan. Faktor-faktor pendekatan korosi yaitu :

- Logam. Komposisi, struktur atom, keheterogenan struktur secara mikroskopik dan makroskopik, tegangan (tarik, tekan dan siklus)
- Lingkungan. Sifat kimia, konsentrasi bahan reaktif dan pengotor, tekanan, temperatur, kecepatan dan lain-lain
- Antar muka logam/lingkungan. Kinetika oksidasi dan pelarutan logam, kinetika proses reduksi bahan di dalam larutan, lokasi produk korosi dan pertumbuhan film dan pelarutan film.

Mekanisme korosi tidak terlepas dari reaksi elektrokimia. Reaksi elektrokimia melibatkan perpindahan elektron-elektron. Perpindahan elektron merupakan hasil reaksi redoks (reduksi-oksidasi). (Gadang, 2008)

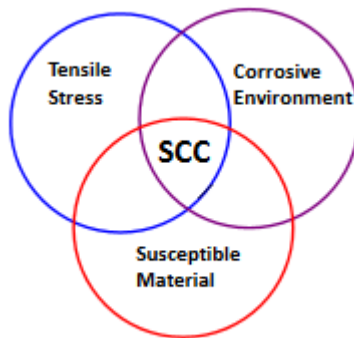
2.4 Korosi retak tegang

Korosi retak tegang atau juga biasa disebut dengan *stress corrosion cracking* timbul pada logam yang berada dalam kondisi pembebanan atau tegangan statis yang cenderung rendah dengan kondisi lingkungan yang korosif. Selain pembebanan atau pemberian gaya secara eksternal (*applied stress*) korosi jenis ini dapat terpicu karena pembebanan internal material atau tegangan sisa yang terdapat di dalam internal material (*residual stress*) Korosi ini pada umumnya terjadi pada material yang memiliki lapisan pasif pada permukaannya seperti baja tahan karat austenitik. Namun korosi retak tegang juga memungkinkan terjadi pada semua jenis material logam baik *ferrous* maupun *non-ferrous*. Dengan kata lain SCC adalah korosi yang terjadi akibat pengaruh tegangan dan lingkungan yang korosif. Pengaruh SCC pada material biasanya menyebabkan terjadinya kegagalan akibat inisiasi crack yang ditimbulkan dan terjadi perambatan retak hingga akhirnya terjadi kegagalan. Biasanya, kebanyakan dari permukaan tidak



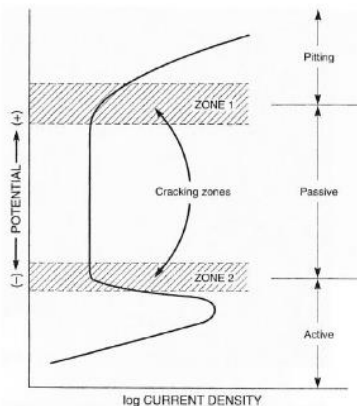
mengalami serangan terhadap SCC namun dengan adanya *crack* halus dan menembus ke dalam material (Sedriks, 1976).

Faktor-faktor yang mempengaruhi SCC meliputi: faktor material seperti komposisi paduan, mikrostruktur, dan fase sekunder; faktor tegangan seperti besarnya tegangan tarik atau faktor intensitas tegangan, tegangan sisa, dan keadaan tegangan; faktor lingkungan seperti temperatur, tekanan, pH, dan potensial elektrokimia. Salah satu karakteristik SCC adalah tergantung pada besarnya potensial. SCC terjadi untuk sistem (kombinasi bahan yang rentan dan lingkungan yang korosif) yang menunjukkan daerah transisi aktif-pasif dalam kurva polarisasi. Bahkan untuk sistem yang sama, SCC hanya terjadi pada rentang potensial tertentu.



Gambar 2.4. Tiga Faktor penyebab SCC (Yang, 2011)

Gambar 2.5 menunjukkan daerah potensial dimana SCC terjadi diberi label sebagai zona 1 dan zona 2. Di zona 1, SCC dan *pitting* dikaitkan pada rentang potensial yang berdekatan atau tumpang tindih. Di zona 2, jauh dari kisaran potensial pitting, SCC terjadi dimana film pasif relatif lemah pada potensi aktif yang nyaris tidak memadai untuk membentuk film pasif. (Jones & Ricker, 1992)



Gambar 2.5. Skema kurva polarisasi anoda menunjukkan zona potensial SCC yang sering terjadi pada material yang mampu membentuk film pasif seperti baja tahan karat. (Jones & Ricker, 1992)

2.4.1 Morfologi Perpatahan SCC

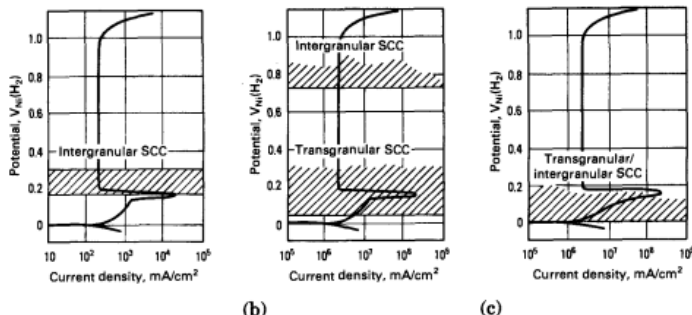
Ada dua jenis SCC yaitu transgranular dan intergranular SCC. Pada SCC transgranular, retakan merambat melalui butir-butir, sementara di dalam intergranular SCC, retakan tumbuh sepanjang batas butir, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.6. Selain itu, selain morfologi retak, permukaan rekahan dua jenis SCC juga terlihat berbeda (Gambar 2.6.). Transgranular SCC terjadi di zona 1 karena material berada pada daerah transisi dari korosi aktif menuju pembentukan lapisan film pasif sehingga secara bersamaan pembentukan lapisan film dan korosi pada ujung retakan terjadi. Kondisi yang mirip juga terjadi di zona 2, dengan meningkatnya potensial sehingga melebihi potensial *pitting* sehingga retakan dapat menginisiasi terjadinya pitting. Intergranular SCC terjadi pada rentang potensial yang lebih lebar daripada yang ditunjukkan pada zona 1 dan 2 karena ketidakhomogenan kimia pada batas butir menghasilkan respons elektrokimia yang relatif berbeda terhadap



material dasar. Oleh karena itu, dinding retak pasif dan ujung retak aktif dapat berujung pada rentang potensial dari zona 1 hingga zona 2. (Jones & Ricker, 1992)



Gambar 2.6. Jenis dari SCC: (a) Transgranular (b) Intergranular (Jones & Ricker, 1992)



Gambar 2.7. Kurva potensiokinetik polarisasi dan nilai potensial elektroda pada saat intergranular dan transgranular SCC terjadi pada 10% NaOH 288 °C. (a) paduan 600. (b) paduan 800. (c) AISI 304 (Jones & Ricker, 1992)

2.4.2 Mekanisme SCC

SCC adalah salah satu jenis korosi lokal, yang menunjukkan bahwa inisiasi SCC selalu dikaitkan dengan beberapa kondisi lokal permukaan material dan diskontinuitas material, seperti inklusi, batas butir, slip, korosi *pitting* dan yang



terpenting adalah rusaknya lapisan film tipis di permukaan material. Sebagian besar mekanisme SCC yang ada berfokus pada proses propagasi, karena inisiasi retak relatif sulit untuk diukur dan inisiasi retak belum didefinisikan secara tepat. Misalnya, sulit untuk menentukan pada titik mana sebuah *pitting* menjadi celah kecil. Contoh lain adalah batas antara korosi intergranular ke intergranular SCC sebenarnya adalah suatu hal yang sulit. (Harwood, 1956)

Sekarang banyak diusulkan bahwa SCC dapat disebabkan oleh sejumlah mekanisme yang berbeda dan bahwa ada sistem lingkungan paduan di mana satu atau lebih mekanisme mungkin berlaku. Menurut (Kruger, 1980), dari banyak mekanisme yang diusulkan, tiga saat ini adalah yang paling banyak digunakan, dan yang lainnya dapat dianggap sebagai variasi atau sub-set dari tiga parameter utama. Dia percaya bahwa semua mekanisme melibatkan interaksi kompleks dari tiga disiplin ilmu yang mempengaruhi SCC: kimia (elektrokimia), metalurgi dan mekanik. Dia menggambarkan tiga mekanisme sebagai berikut:

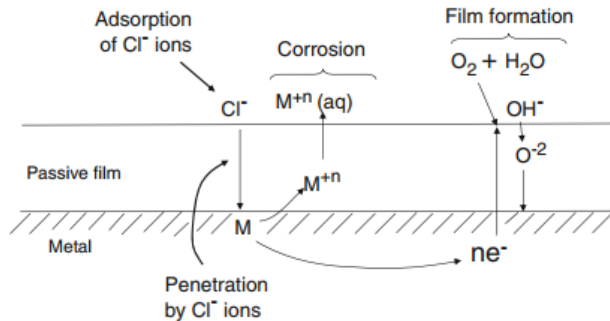
1. *Stress-sorption mechanism*
2. *Film rupture—metal dissolution mechanism*
3. *Hydrogen—embrittlement mechanism*

Penulis lain menganggap mekanisme korosi retak tegang pada dasarnya bersifat elektrokimia-mekanik. (Logan, 1971) menunjukkan bahwa korosi retak tegang dapat dipercepat dengan penerapan arus anodik dan dihambat oleh penerapan arus katodik (proteksi katodik), maka dapat diasumsikan bahwa SCC adalah, pada beberapa bagian, setidaknya bersifat elektrokimia. Dia mendekati mekanisme SCC terutama dari berikut ini:

1. Aspek elektrokimia
2. Aspek mekanis

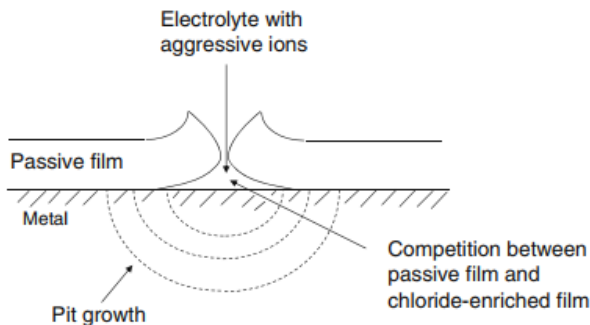


2.5 Mekanisme Inisiasi *Pit*



Gambar 2.8 Mekanisme Penetrasi inisiasi *Pit* (McCafferty, 2010)

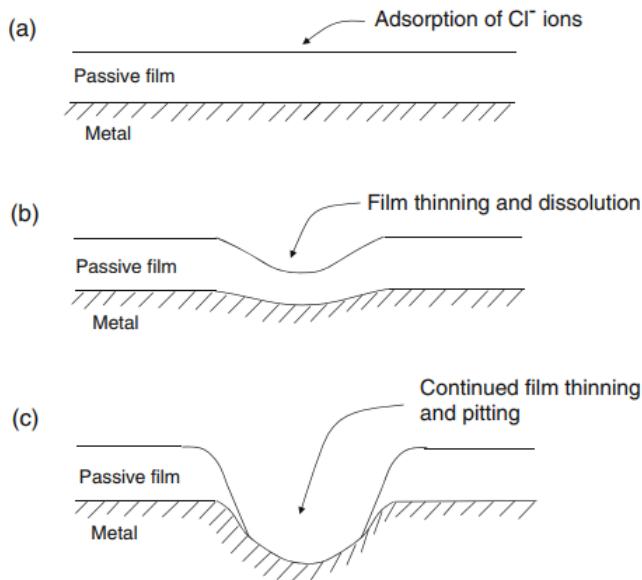
Mekanisme penetrasi diawali oleh anion dalam hal ini Cl^- bergerak menuju permukaan film, kemudian berdifusi masuk ke dalam menuju permukaan logam. Cl^- dapat berdifusi masuk karena perbedaan radius yang sedikit antara Cl^- dan ion oksida (berturut-turut 1.81 vs 1.4 Å).



Gambar 2.9 Mekanisme Film Rupture inisiasi *Pit* (McCafferty, 2010)



Pada mekanisme *film-rupture* ion klorida berpenetrasi ke lapisan oksida melalui retakan atau *flaws* yang terdapat pada lapisan oksida tersebut. Kemudian terjadi kompetisi antara pembentukan oksida kembali dari reaksi antara molekul air dan logam dengan ion klorida yang berpenetrasi. Kompetisi ini menyebabkan perusakan lapisan oksida yang telah terbentuk sebelumnya.



Gambar 2.10 Mekanisme Penipisan Lapisan Film Inisiasi *Pit*
(McCafferty, 2010)

Mekanisme penipisan lapisan film diawali dengan ion agresif seperti ion klorida teradsorpsi ke permukaan lapisan oksida kemudian membentuk *surface complexes* yang kemudian dapat laput ke elektrolit yang menyebabkan peluruhan lokal dan penipisan dari lapisan film oksida. Setelah itu anion menyerang tempat yang tak terlindungi akibatnya lapisan oksida tidak sempat



terbentuk karena selalu ditempati oleh produk korosi (McCafferty, 2010).

2.6 Asam Klorida

Larutan asam klorida atau yang biasa dikenal dengan larutan HCl dalam air, adalah cairan kimia yang sangat korosif dan berbau menyengat. HCl termasuk bahan kimia berbahaya atau B3. Dalam skala industri, HCl biasanya diproduksi dengan konsentrasi 38%. Ketika dikirim ke industri pengguna, HCl dikirim dengan konsentrasi antara 32~34%. Pembatasan konsentrasi HCl ini karena tekanan uapnya yang sangat tinggi, sehingga menyebabkan kesulitan ketika penyimpanan.

Hidrogen klorida (HCl) adalah asam monoprotik, yang berarti bahwa ia dapat berdisosiasi melepaskan satu H⁺ hanya sekali. Dalam larutan asam klorida, H⁺ ini bergabung dengan molekul air membentuk ion hidronium, H₃O⁺:



Ion lain yang terbentuk adalah ion klorida, Cl⁻. Asam klorida oleh karenanya dapat digunakan untuk membuat garam klorida, seperti natrium klorida. Asam klorida adalah asam kuat karena ia berdisosiasi penuh dalam air.

Dari tujuh asam mineral kuat dalam kimia, asam klorida merupakan asam monoprotik yang paling sulit menjalani reaksi redoks. Ia juga merupakan asam kuat yang paling tidak berbahaya untuk ditangani dibandingkan dengan asam kuat lainnya. Walaupun asam, ia mengandung ion klorida yang tidak reaktif dan tidak beracun. Asam klorida dalam konsentrasi menengah cukup stabil untuk disimpan dan terus mempertahankan konsentrasinya.

Asam klorida sering digunakan dalam analisis kimia untuk "mencerna" sampel-sampel analisis. Asam klorida pekat melarutkan banyak jenis logam dan menghasilkan logam klorida dan gas hidrogen. Ia juga bereaksi dengan senyawa dasar semacam kalsium karbonat dan tembaga (II) oksida, menghasilkan klorida terlarut yang dapat dianalisa (Perry, et al., 1984)



2.6.1 Penggunaan Asam Klorida

Asam klorida merupakan kimia yang penting dan luas penggunaannya. Penggunaan terbesar asam klorida yaitu sebagai penghilang karat atau kerak besi oksida dari besi atau baja, bahan baku pembuatan vinyl klorida, yaitu monomer untuk pembuatan plastik polyvinyl chloride atau PVC, bahan baku pembuatan besi (III) klorida (FeCl_3) dan polyaluminium chloride (PAC), yaitu bahan kimia yang digunakan sebagai bahan baku koagulan dan flokulan. Koagulan dan flokulan digunakan pada pengolahan air. Asam klorida dimanfaatkan pula untuk mengatur pH (keasaman) air limbah cair industri, sebelum dibuang ke badan air penerima, selain itu asam klorida digunakan dalam proses regenerasi resin penukar kation (*cation exchange resin*).

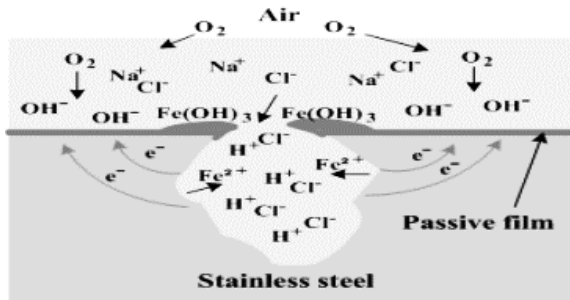
2.6.2 Reaksi Kimia Asam Klorida dengan Baja Tahan Karat Austenitik

Mekanisme penetrasi melibatkan difusi ion Cl^- dari elektrolit melalui lapisan pasif ke antarmuka oksida / logam di bawah pengaruh medan listrik medan yang tinggi dari kebanyakan lapisan film. Mekanisme pemecah film dimulai dengan retak pada lapisan pasif di bawah aktivitas korosi yang diinduksi, mengekspos area kecil permukaan logam yang telanjang ke elektrolit dan pelarutan logam yang sangat kuat yang mengarah pada pembentukan lubang. Mekanisme adsorpsi mengacu pada difusi elektrokimia dari kation logam dari film pasif ke elektrolit karena reaktivitas ion korosif dan penipisan kromium yang menyebabkan Rusaknya film pasif.

Pembentukan lubang pada logam tidak dapat dihitung meskipun ada preferensi untuk suatu area yang terkait dengan cacat atau retak. Timbulnya korosi pitting terjadi pada dua fase (nukleasi dan kolapsnya lapisan pasif) yang menyebabkan oksidasi dan pembubaran anodik. Inhomogenitas pada permukaan paduan adalah lokasi inisiasi untuk pembentukan *pit*. Kondisi yang diperlukan untuk *pit* yang aktif adalah adanya lingkungan yang agresif di dalam lubang. Dengan kondisi ini, *pit* tetap aktif,

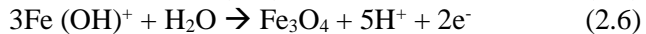
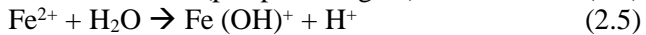


berperilaku sebagai anoda kecil, sedangkan permukaan sekitarnya berperan sebagai katoda besar. Produksi cepat ion logam di dalam *pit* menginduksi difusi dan migrasi anion seperti Cl^- bertanggung jawab atas pemecahan film pasif. Gambar 2.11 di bawah ini menggambarkan lubang propagasi dalam paduan berbasis besi yang mengandung kromium dalam lingkungan yang mengandung klorida.

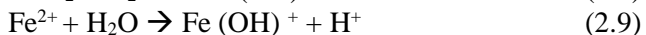
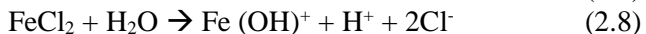


Gambar 2.11 Skema Pertumbuhan *Pit* di dalam Logam (Loto, et al., 2015)

Reaksi anoda di dalam *pit*:



Keberadaan Cl^- , mempercepat hidrolisis dari Fe^{2+} , seperti pada reaksi berikut:



Elektron yang diberikan oleh anoda mengalir ke katoda (permukaan yang terpasivasi) dimana mereka dikeluarkan pada reaksi katodik :



(Loto, et al., 2015)



2.7 Asam Sulfat

Asam sulfat adalah cairan tak berwarna, seperti minyak dan higroskopik, dengan berat jenis 1,838 g/cm³. Asam pekatnya yang murni dan komersial, adalah suatu campuran yang bertitik didih konstan, dengan titik didih 338 °C dan mengandung asam kira-kira 98% (Vogel, 1979).

Proses percampuran asam sulfat dengan air sangat eksotermis; oleh karena itu pada pengenceran, asam sulfat pekat harus dituangkan secara perlahan ke dalam air bukan sebaliknya, dan sambil diaduk secara terus-menerus.

Asam sulfat pekat merupakan campuran air dan asam sulfat dengan konsentrasi kira-kira 18 M

Biasanya asam sulfat dianggap sebagai asam saja, namun sesungguhnya asam sulfat dapat bereaksi menurut 5 (lima) cara yang berbeda, yaitu: sebagai suatu asam, pengering terhadap air, pengoksidasi, agen sulfonasi, dan sebagai suatu basa

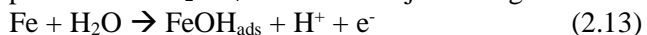
(Sugiyarto, 2004)

2.7.1 Penggunaan Asam Sulfat

Asam sulfat merupakan komoditas kimia yang sangat penting, dan sebenarnya pula, produksi asam sulfat suatu negara merupakan indikator yang baik terhadap kekuatan industri negara tersebut. Kegunaan utama (60% dari total produksi di seluruh dunia) asam sulfat adalah dalam "metode basah" produksi asam fosfat, yang digunakan untuk membuat pupuk fosfat dan juga trinitrat fosfat untuk deterjen. Sebagai bahan baku dalam proses pembentukan sumber energi listrik yaitu aki karena sifatnya yang merupakan elektrolit kuat. (Chenier & Philip, 1987)

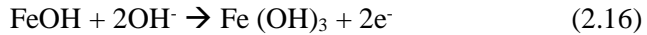
2.7.2 Reaksi Kimia Asam Sulfat dengan Baja Tahan Karat Austenitik

Pelepasan besi di H₂SO₄ ditemukan terjadi sebagai berikut:

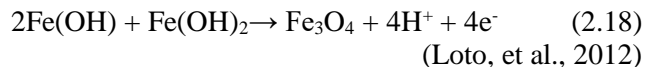
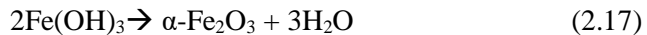




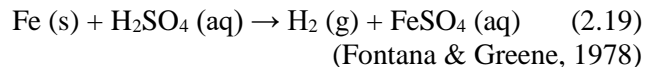
Di dalam keadaan polarisasi anodik, besi larut melalui lapisan Cr_2O_3 dan bereaksi dengan H_2SO_4 untuk membentuk FeOH , spesies Fe^{2+} .



Dimana mungkin terjadi perubahan struktur menjadi $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$



Asam sulfat bereaksi dengan kebanyakan logam via reaksi penggantian tunggal, menghasilkan gas hidrogen dan logam sulfat. H_2SO_4 encer menyerang besi, aluminium, seng, mangan, magnesium, dan nikel dengan reaksi sebagai berikut :



2.8 Sodium Thiosulfat

2.8.1 Penggunaan Sodium Thiosulfat

Distribusi pemakaian *Sodium Thiosulfat Pentahydrat* secara komersial di Amerika Serikat dan Asia sebagai berikut

a. Fotografi (80%)

Di dalam fotografi Sodium Thiosulfat Pentahydrat biasanya dipakai sebagai bahan baku pencuci sebab bahan tersebut mudah menghancurkan perak bromida yang tak tereduksi di dalam lapisan film membentuk campuran larutan kompleks perak thiosulfat.

b. Penyamakan Kulit (5%)

Sodium thiosulfat pentahydrat digunakan dalam proses penyamakan kulit sebagai pereduksi yang mereduksi diklorat menjadi klor alum.

c. Industri Tekstil, Kertas, Farmasi dan Yang Lainnya (15%)

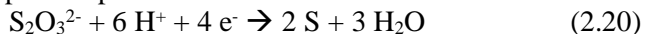


Sodium thiosulfat pentahydrat digunakan sebagai anti klor pada industri tekstil dan kertas untuk mereduksi klorin dalam bahan kertas dan tekstil. Sedangkan untuk industri farmasi digunakan sebagai bahan pembuatan asam thioblicolic yang mana asam tersebut sebagai obat keriting rambut. Sodium thiosulfat pentahydrat juga dipakai dalam proses ekstraksi perak, pada pemutihan wool dan gading serta penyerbukan minyak pelumas.

2.8.2 Reaksi Sodium Thiosulfat dengan Baja Tahan Karat

Thiosulfate memberikan efek pada fenomena *pitting corrosion* dengan mencegah pasivasi dari permukaan baja tahan karat dan dengan mempercepat korosi di dalam *pit* yang telah terbentuk sebelumnya. Thiosulfat tidak diketahui menyebabkan Kerusakan korosi lokal yang parah pada baja tahan karat. Oleh karena itu thiosulfate tidak mampu menginisiasi pit, tetapi thiosulfate mencegah terbentuk lapisan film pasif pada permukaan baja tahan karat.

Thiosulfat dapat tereduksi menjadi sulfur pada permukaan logam pada pH dan potensial tertentu.

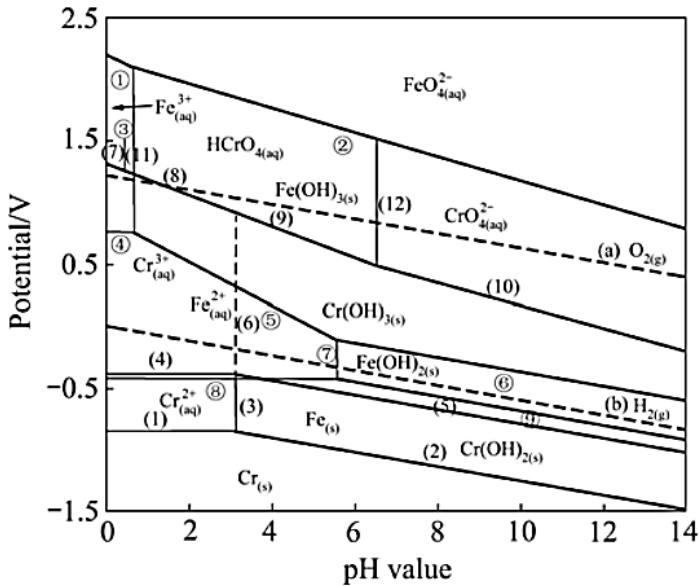


Sulfur dapat menghalangi adsorpsi ion hidroksil, dimana merupakan prekursor dari pembentukan lapisan pasif.

(Laitinen, 1999)

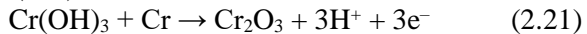
2.9 Diagram Potensial-pH

Sebagai alat yang ampuh dalam hidrometalurgi, diagram pH-potensial memiliki aplikasi yang luas. Diagram potensial-pH digunakan untuk menganalisis prinsip fisika dan menentukan kondisi termodinamika. Selain itu, diagram potential-pH juga sangat penting di bidang kimia analitik, geologi mineral, biologi, teknologi tenaga nuklir dan korosi serta anti korosi logam. Gambar 2.12 merupakan diagram, potensial-pH dari Cr-H₂O dan Fe-H₂O yang digabung menjadi satu. Diagram ini menjelaskan bagaimana perilaku Cr dan Fe dalam lingkungan yang mengandung H₂O diberbagai pH. (You, et al., 2010)



Gambar 2.12 Diagram Potensial-pH dari sistem Cr-H₂O dan Fe-H₂O pada 25°C. (You, et al., 2010)

Diketahui bahwa pertumbuhan oksida dapat terjadi dengan perubahan dari Cr(OH)₃ ke Cr₂O₃ berdasarkan reaksi berikut:



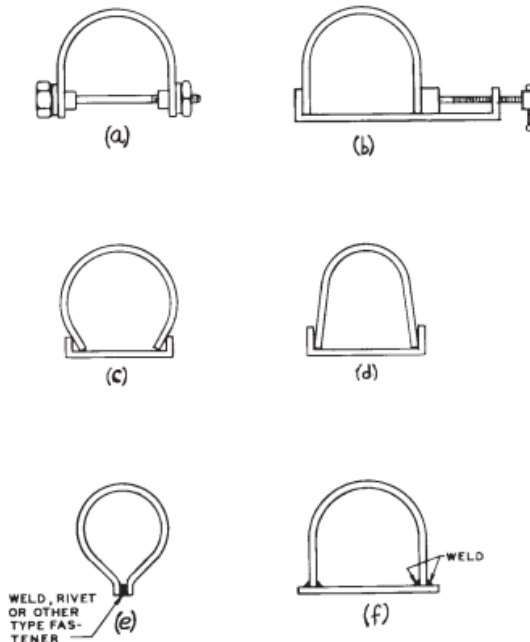
Sehingga pada pertumbuhan lapisan oksida selanjutnya adalah Cr₂O₃ (You, et al., 2010).

2.10 Metode Pengujian Korosi Retak Tegang Menggunakan U-Bend

U-bend adalah salah satu metode dari *bent beam* untuk melihat fenomena korosi retak tegang dengan tegangan berada dalam batas elastis maupun plastis. Menurut ASTM G30 benda uji ditekuk hingga 180 ° di sekitar radius yang telah ditentukan dan dipertahankan dalam kondisi regangan konstan selama uji korosi retak tegang.



Prinsip tegangan pada *U-bend* adalah melingkar. Tegangan ini tidak seragam karena (a) terdapat gradien tegangan melalui ketebalan benda uji mulai dari tegangan tarik maksimal pada permukaan luar hingga tegangan kompresi maksimal pada permukaan dalam, (b) tegangan bervariasi dari nol pada akhir benda uji hingga maksimal pada bagian tengah tekukan, (c) tegangan mungkin bervariasi di sepanjang lebar benda uji.



Gambar 2.13 Jenis-jenis konfigurasi *U-bend* (ASTM, 2003)

Regangan total (ϵ) pada permukaan bagian luar benda uji dapat didikati dengan persamaan sebagai berikut:

$$\epsilon = T/2R \text{ saat } T \ll R \quad (2.22)$$

$$R = T/2\epsilon \quad (2.23)$$

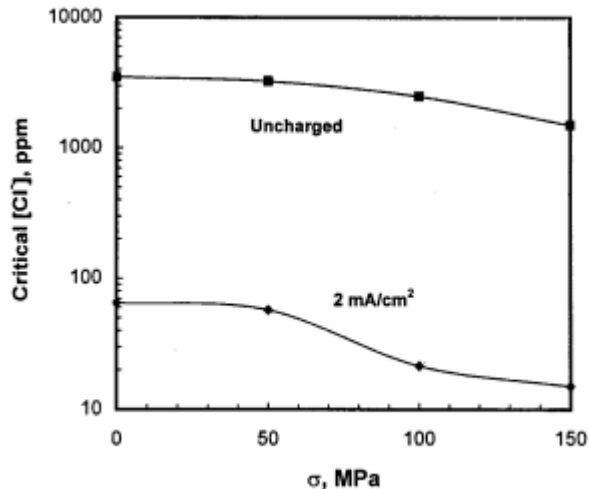
Dimana:



T = Ketebalan benda uji

R = Radius dari kelengkungan

2.11 Pengaruh Tegangan Tarik Terhadap Perusakan Lapisan Film



Gambar 2.14 Pengaruh Tegangan Tarik terhadap *Critical Chloride Concentration* untuk Perusakan Lapisan Film (Yang & Luo, 2001)

Peningkatan tegangan tarik menyebabkan terjadinya penurunan konsentrasi kritis klorida untuk merusak lapisan pasif. Kemudian berdasarkan analisa termodinamika, untuk difusi tipe vakansi, koefisien difusi akan meningkat dengan meningkatnya tegangan tarik dan akan menurun dengan meningkatnya tegangan kompresi. Pada kondisi tegangan tarik, laju difusi anion oleh vakansi kation melewati lapisan film lebih tinggi dibandingkan pada kondisi tanpa tegangan. Ion klorida lebih cenderung bermigrasi menuju daerah dengan tegangan yang tinggi. Hal ini

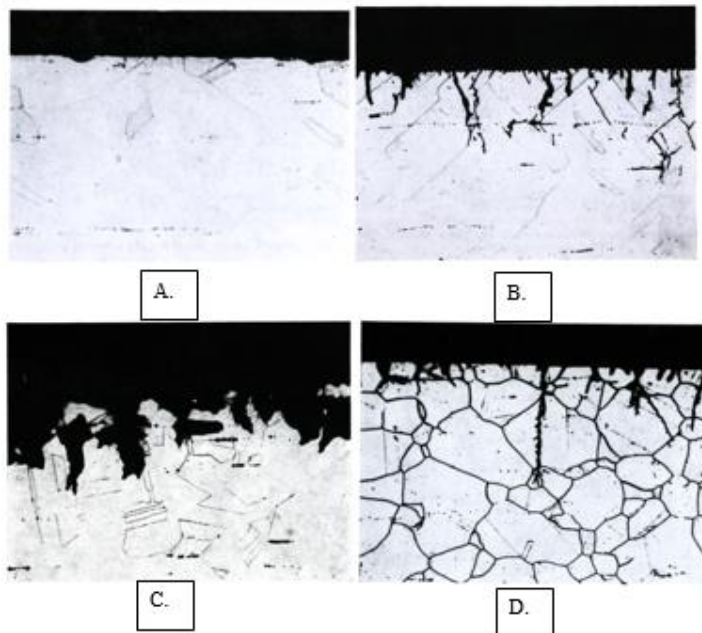


berarti tegangan dapat membantu adsorpsi ion klorida yang dibutuhkan untuk merusak lapisan film (Yang & Luo, 2001).

2.12 Penelitian Sebelumnya mengenai Korosi Retak Tegang

2.12.1 SCC di lingkungan HCl

Bianchi, et al (1972) mempelajari tentang korosi retak tegang baja tahan karat austenitic AISI 304 pada media HCl pada temperatur ruang. Dengan variasi sensitisasi dan anil pada benda uji, kemudian benda uji dibentuk *U-bend* kemudian di *immerse* pada berbagai konsentrasi HCl. Pada konsentrasi HCl yang lebih tinggi, kenaikan korosi meningkat dan tidak rata, terjadi korosi umum, bukan retak.



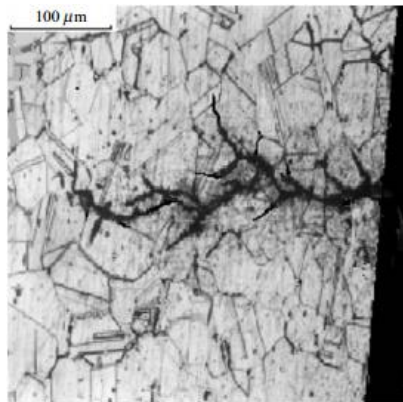
Gambar 2.15. Hasil pengujian AISI 304 pada berbagai konsentrasi HCl pada temperatur ruang. (A.) Korosi *pitting* pada 0.1 M HCl, waktu ekspos 144 jam. (B.) Transgranular SCC pada 1M HCl, waktu ekspos 48 jam. (C.) Korosi merata tak beraturan



pada 3M HCl, waktu ekspos 144 jam. D. Transgranular SCC pada 1M HCl, waktu ekspos 72 jam. (Bianchi, et al., 1972)

2.12.2 SCC di lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$

Almubarak, et al (2010) meneliti tentang efek sensitisasi terhadap perilaku korosi retak tegang baja AISI 304, 316 dan 321 pada *chloride solution* ($\text{CaCl}_2 + \text{HCl}$), *Sour solution* ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) dan *Polythionic acid*. Untuk mensimulasikan lingkungan kilang minyak bumi, H_2S disubstitusi dengan sodium thiosulfate ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), karena lebih mudah dan kurang berbahaya bagi lingkungan. Usulan bahwa $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dapat digunakan sebagai pengganti H_2S pertama kali diusulkan oleh Tsujikawa et al. (1993) untuk *Japan Society of Corrosion Engineering*. Tsujikawa berpendapat bahwa suatu lingkungan klorida H_2S dapat disimulasikan dengan komposisi berikut: Larutan natrium klorida 20 wt% (NaCl) + 10^{-3} M sampai 10^{-2} M $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ dengan $\text{pH} = 4$.



Gambar 2.16. Baja SS 304 disensitisasi direndam dalam larutan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ (Almubarak, et al., 2010)



Tabel 2.3 Data hasil pengujian yang dilakukan oleh almubarak et al.

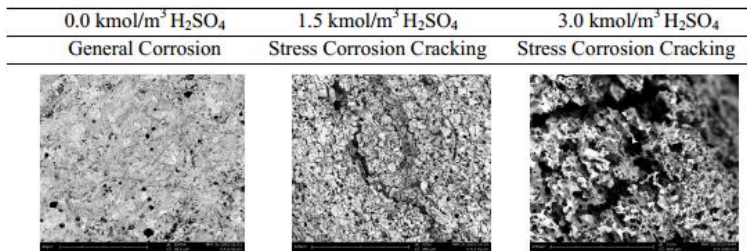
Tipe SS	Polythionic acid	Sour solution ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$)	Chloride Solution
304	Retak dalam 12 jam	Retak dalam 30 hari	Retak dalam 38 hari
316	Retak dalam 2 hari	Retak dalam 35 hari	CSCC setelah 45 hari
321	IGSCC setelah 45 hari	Retak rambut IGSCC setelah 45 hari	Tidak terjadi IGSCC atau CSCC

Note: CSCC, *Chloride stress corrosion cracking*; IGSCC, *Intergranular stress corrosion cracking*.

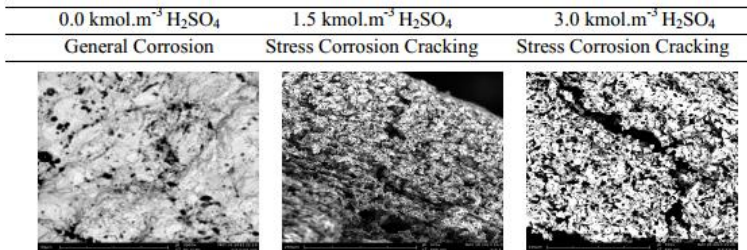
2.12.3 SCC di lingkungan H_2SO_4 dengan sensitisasi

Sudah banyak penelitian sebelumnya yang mempelajari SCC pada lingkungan H_2SO_4 , studi pertama SCC dalam benda uji stainless steel U-bend AISI 304 dalam larutan H_2SO_4 -NaCl pada 303K (Acello & Green, 1962). Setelah laporan ini, banyak peneliti berurusan dengan SCC dalam larutan ini, dan mereka melaporkan bahwa SCC terjadi dalam kisaran konsentrasi NaCl tertentu dan pada rentang lainnya terjadi korosi umum atau retak ditekan.

Abd Razak, et al (2014) meneliti tentang pengaruh konsentrasi H_2SO_4 dan NaCl terhadap korosi retak tegang baja AISI 304. Variasi yang diberikan adalah sebagian benda uji di anil dan sebagiannya di sensitisasi (800°C, 120 min). Uji SCC dilakukan pada 12 macam konsentrasi H_2SO_4 dan NaCl dari 0M-3M H_2SO_4 dan 0.5M-2M NaCl.



Gambar 2.17. Hasil SEM penampang melintang AISI 304 kondisi anil setelah pengujian di 0,5 M NaCl dengan 0, 1,5, 3,0 M H₂SO₄ perbesaran 500x (Abd Razak, et al., 2014)



Gambar 2.18. Hasil SEM penampang melintang AISI 304 kondisi sensitisasi setelah pengujian di 0,5 M NaCl dengan 0, 1,5, 3,0 M H₂SO₄ perbesaran 500x (Abd Razak, et al., 2014)

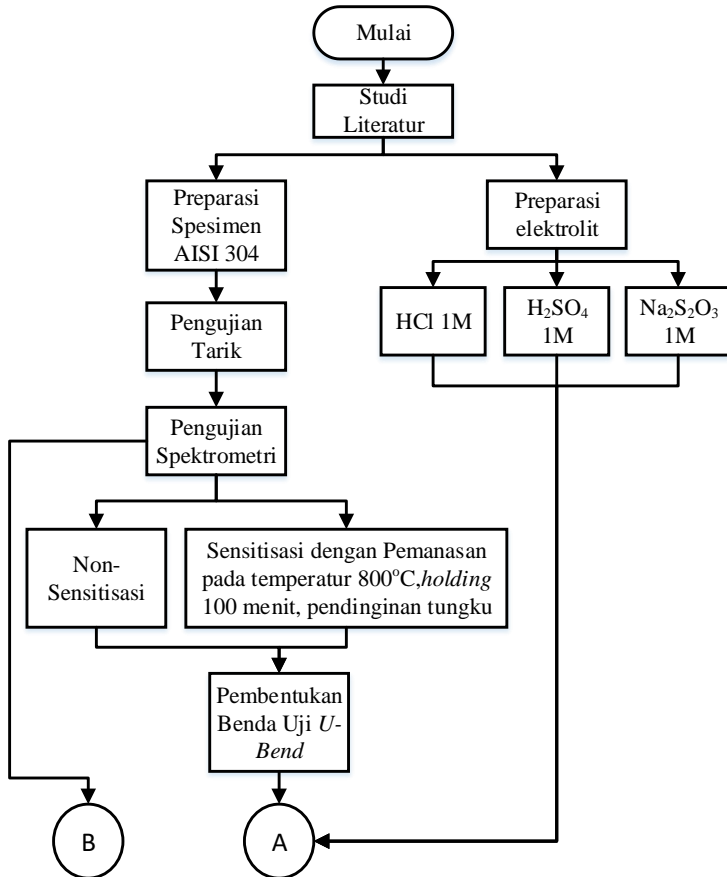
Dari Gambar tersebut, dapat dilihat bahwa terjadinya SCC hanya terjadi pada kisaran konsentrasi H₂SO₄ dan NaCl tertentu, sementara korosi umum mendominasi kisaran konsentrasi lainnya. Hal ini juga menunjukkan bahwa daerah SCC menjadi lebih kecil karena konsentrasi H₂SO₄ dan NaCl meningkat.

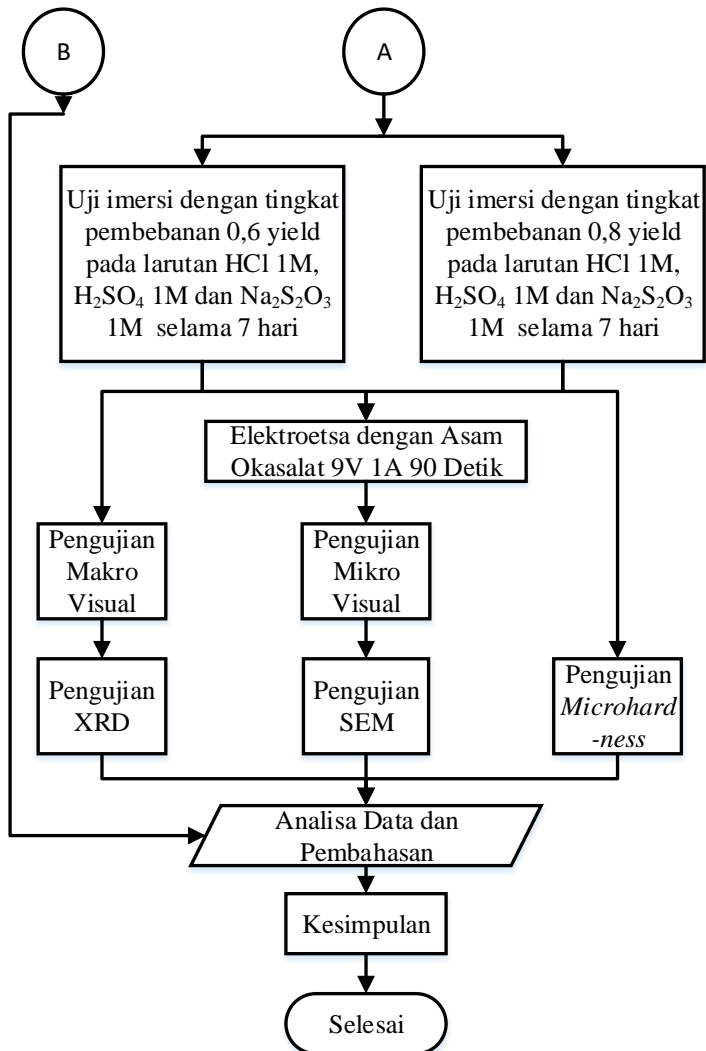
Selain itu, terlihat jelas bahwa SCC lebih banyak terjadi pada benda uji yang mengalami perlakuan sensitisasi. Hal ini karena serangan batas butir dan presipitasi kromium pada benda uji yang mengalami sensitisasi. Benda uji dengan perlakuan sensitisasi dikaitkan dengan pengendapan kromium karbida kaya seperti Cr₂₃C₆ di sepanjang batas butir (Abd Razak, et al., 2014).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Metode Perancangan

Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur mengacu pada buku-buku, jurnal-jurnal dan penelitian-penelitian sebelumnya yang mempelajari mengenai perilaku korosi, khususnya penelitian yang menggunakan elektrolit HCl, H₂SO₄, dan Na₂S₂O₃, sensitisasi dan beban.

2. Eksperimen

Metode ini dilakukan dengan pengujian sesuai dengan prosedur dan standar yang ada. Adapun pengujian yang diperlukan dalam penelitian ini adalah XRD, makro visual, SEM, dan mikrohardness.

3.3 Alat dan Bahan Percobaan

3.3.1 Alat Percobaan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Gelas Beaker Pyrex 1 L
2. Gelas ukur Pyrex
3. Spatula
4. Mesin Potong
5. Kayu
6. *Chamber* Plastik
7. Benang
8. Kertas Gosok (80,120,240,480,600,800,1000,1500,2000)
9. Penggaris
10. Kamera
11. Mesin uji spektrometri
12. Mikroskop
13. Mesin uji SEM
14. Mesin uji XRD
15. Mesin uji Tarik
16. Mesin uji *microhardness*
17. *Dielectric Heating Furnace*
18. Baterai 9V



19. Kabel secukupnya

3.3.2 Bahan Percobaan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini merupakan baja AISI 304. Benda uji tersebut didesain sesuai dengan pengujian defleksi dengan metode *U-Bend* dimana masing-masing variasi pembebanan memiliki dimensi panjang yang berbeda satu dengan lainnya.

2. Larutan Elektrolit

Larutan elektrolit yang digunakan adalah HCl 1M, H₂SO₄ 1M dan Na₂S₂O₃ 1M.

Tabel 3.1 Data Elektrolit yang digunakan

Elektrolit	Konsentrasi [M]	pH
HCl	1	0
H ₂ SO ₄	1	0.3
Na ₂ S ₂ O ₃	1	8.4

3. Larutan Etsa

Larutan etsa yang digunakan adalah H₂C₂O₄ 10% (asam oksalat) untuk memperlihatkan batas butir dari baja AISI 304

4. Aquades

Aquades atau air suling digunakan untuk mengencerkan larutan elektrolit sehingga didapatkan konsentrasi yang sesuai.

3.4 Prosedur Penelitian

3.4.1 Pengujian Spektrometri

Pengujian spektrometri bertujuan untuk mengetahui persentase komposisi kimia yang terkandung dalam benda uji. Pada penelitian ini pengujian spektrometri dilakukan di laboratorium PT. Timur Megah Steel – Gresik. *Optical Emission Spectrometer* adalah salah satu teknik spektroskopi yang meneliti panjang gelombang foton yang dipancarkan oleh atom atau molekul selama transisi dari keadaan tereksitasi ke keadaan energi



yang lebih rendah. Setiap elemen memancarkan karakteristik panjang gelombangnya tersendiri sesuai dengan struktur elektronnya. Dengan mengamati panjang gelombang tersebut, komposisi unsur dari sebuah material dapat ditentukan. Adapun prosedur pengujian spektrometri adalah :

1. Meratakan permukaan benda uji dengan menggunakan gerinda perata jika permukaan belum rata.
2. Memasang benda uji pada ruang penembakan
3. Mendapatkan data komposisi unsur benda uji



Gambar 3.2 Benda Uji AISI 304 setelah dilakukan Uji Spektroskopi



Gambar 3.3 Alat Spektrometer di PT Timur Megah Steel

3.4.2 Pengujian Tarik

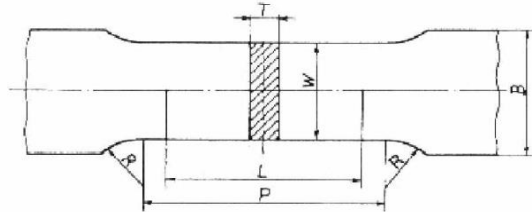
Pengujian Tarik bertujuan untuk mengetahui sifat mekanik baja AISI 304 khususnya kekuatan luluh yang nantinya data tersebut digunakan untuk menghitung dimensi benda uji berdasarkan variasi pembebanan. Pengujian tarik dilakukan di Laboratorium Metalurgi Departemen Teknik Material. Pengujian

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Tarik berdasarkan JIS Z 2201, spesifikasi benda uji yang digunakan seperti Gambar berikut:



Gambar 3.4 Benda uji Tarik sesuai JIS Z 2201 no.5

Tabel 3.2 Dimensi Benda Uji Tarik JIS Z 2201 no.5

Width W	Gauge Length L	Parallel Length P	Radius of fillet R	Thickness T
25 mm	50 mm	60 mm	15 mm	2 mm

Adapun langkah-langkah pengujian tarik adalah sebagai berikut,

1. Menyiapkan benda uji sesuai dengan dimensi pada Gambar 3.4
2. Membersihkan benda uji dengan kertas gosok grade 250 untuk mengantisipasi adanya pengotor yang menempel pada permukaan benda uji
3. Melakukan pengujian tarik pada masing-masing benda uji
4. Menganalisa hasil kurva P- Δ



Gambar 3.5 AISI 304 untuk Uji Tarik



Gambar 3.6 Alat Uji Tarik

Pengujian tarik untuk mengetahui nilai *yield strength*, dan *Ultimate Tensile Strength* (UTS). Data-data tersebut digunakan untuk menentukan regangan saat tegangan dikenakan pada benda uji. Kemudian didapatkan hasil pada Tabel 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3.3 Hasil Pengujian Tarik

Pengujian ke-	Yield Strength (MPa)	UTS (MPa)
1	313.4	679
2	314.2	681
3	317.9	685.5
Rata-rata	315.16	681.83



Tabel 3.4 Perbandingan Data Hasil Uji Tarik dengan Literatur

Data	Yield Strength (MPa)	UTS (MPa)
Pengujian	315.17	681.83
ASTM A240	Min. 205	Min 515

Dari Tabel 3.3 dapat diketahui bahwa benda uji AISI 304 memiliki *yield strength* sebesar 315.17 Mpa dan UTS sebesar 681.83 Mpa. Kemudian dari Tabel 3.4 dapat diketahui bahwa benda uji AISI 304 telah sesuai dengan standar yang terdapat pada ASTM A240 untuk tipe UNS S30400.

- Perhitungan Dimensi Benda Uji

Dimensi benda uji ditentukan dengan mengetahui seberapa besar tegangan yang diaplikasikan. Pada penelitian ini dipakai tegangan aplikasi 0.6 σ_y dan 0.8 σ_y sehingga didapatkan hasil regangan pada daerah elastis dari benda uji. Berikut ini merupakan data hasil perhitungan regangan berdasarkan persentase yield stress.

Tabel 3.5 Data Besarnya Regangan Elastis Benda Uji berdasarkan Persentase Yield Stress

σ_y	Tegangan (MPa)	Regangan (Elastis)
0.1	31.516	0.00191925
0.2	63.032	0.003838499
0.3	94.548	0.005757749
0.4	126.064	0.007676999
0.5	157.58	0.009596249
0.6	189.096	0.011515498
0.7	220.612	0.013434748
0.8	252.128	0.015353998
0.9	283.644	0.017273248
1	315.16	0.019192497



Dari Tabel 3.5 diketahui bahwa pada $0.6 \sigma_y$ didapatkan regangan sebesar 0.011515498 dan pada $0.8 \sigma_y$ didapatkan regangan sebesar 0.015353998. Setelah didapatkan nilai regangan dilakukan perhitungan dimensi benda uji dengan metode *U-Bend* sesuai standar ASTM G30 pada persamaan 2.22 dan 2.23 :

$$\varepsilon = T/2R$$

$$R = T/2\varepsilon$$

Dimana T adalah ketebalan benda uji, dan R adalah radius bending dari benda uji.

Berikut ini merupakan hasil perhitungan dimensi benda uji:

Tabel 3.6 Hasil Perhitungan Dimensi Benda Uji metode *U-Bend*

Pembebanan	Regangan (Elastis)	Tebal Benda Uji (mm)	Radius Bending (mm)	Panjang Keliling Bending (mm)
$0.6 \sigma_y$	0.011515498	0.6	26.05	81.80
$0.8 \sigma_y$	0.015353998	0.6	19.54	61.35

Setelah diketahui radius bending dari benda uji sesuai pembebanan yang diaplikasikan selanjutnya melakukan penekukan yang dilanjutkan pada bagian preparasi benda uji.

3.4.3 Preparasi benda uji

Langkah-langkah preparasi adalah sebagai berikut:

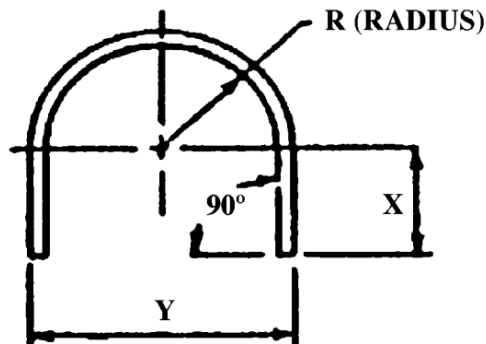
1. Benda uji dipotong menjadi ukuran-ukuran sesuai dengan analisa hasil pengujian tarik sehingga diperoleh data sebagai berikut:



Tabel 3.7 Dimensi Benda uji Uji sesuai Tegangan yang diberikan

Benda uji	Beban	Dimensi Benda uji
A	$0.6 \sigma_y$	100 mm x 30 mm x 0.6 mm
B	$0.8 \sigma_y$	80 mm x 30 mm x 0.6 mm

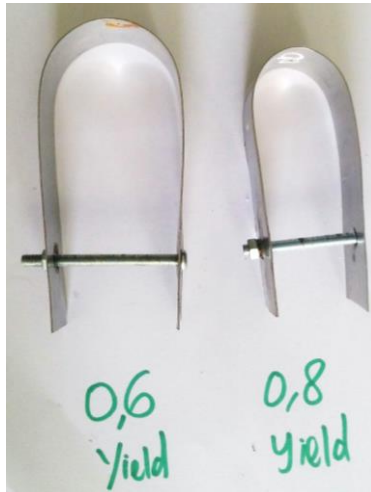
- Kemudian sebagian benda uji diberikan perlakuan panas dengan memanaskan hingga temperatur 800 °C dan ditahan selama 100 menit, setelah itu didinginkan secara lambat di dalam *furnace*.
- Benda uji di gosok permukaannya dengan kertas gosok untuk menghilangkan *scale* di permukaan akibat pemanasan..
- Setelah itu, membuat benda uji di bentuk menjadi *U-bend* dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 3.7 Bentuk Benda Uji untuk *U-Bend*

Tabel 3.8 Dimensi Benda Uji *U-Bend*

Benda uji	R	Y	X
A	26 mm	52 mm	50 mm
B	19.5 mm	39 mm	50 mm



Gambar 3.8 Benda Uji *U-Bend*



Gambar 3.9 *Dielectric Heating Furnace*



3.4.3 Preparasi larutan elektrolit

Pada penelitian ini larutan elektrolit yang digunakan adalah larutan elektrolit HCl 1M, H₂SO₄ 1M dan Na₂S₂O₃ 1M.

- HCl 1M
 1. Menyiapkan larutan HCl 37% sebanyak 82,2 ml untuk membuat 1 liter larutan HCl 1 M.
 2. Melarutkan HCl ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga total volume larutan menjadi 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi HCl 1M. Agar larutan homogen, dilakukan pengadukan dengan spatula.
 3. Setelah HCl terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.
- H₂SO₄ 1M
 1. Menyiapkan larutan H₂SO₄ 98% sebanyak 54.4 ml untuk membuat satu liter larutan H₂SO₄ 1M.
 2. Melarutkan H₂SO₄ ke dalam labu ukur dengan menambahkan aquades hingga total volume larutan menjadi 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi H₂SO₄ 1M. Agar larutan homogen, dilakukan pengadukan dengan spatula.
 3. Setelah H₂SO₄ terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.
- Na₂S₂O₃ 1M
 1. Menyiapkan Na₂S₂O₃.5H₂O kristal sebanyak 248.2 gram.
 2. Melarutkan kristal tersebut dalam aquades hingga volume menjadi 1000 ml, sehingga diperoleh konsentrasi Na₂S₂O₃ 1M. Agar larutan homogen, dilakukan pengadukan dengan spatula.
 3. Setelah Na₂S₂O₃ terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk pengujian selanjutnya.

3.4.4 Preparasi Larutan Etsa

Pada penelitian ini larutan etsa yang digunakan untuk elektroetsa yaitu H₂C₂O₄ 10%.

- H₂C₂O₄ 10%
 1. Menyiapkan H₂C₂O₄.2H₂O kristal sebanyak 10 gram.
-



2. Melarutkan kristal tersebut dalam aquades hingga volume menjadi 100 ml, sehingga diperoleh konsentrasi $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ 10%. Agar larutan homogen, dilakukan pengadukan dengan spatula.
3. Setelah $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ terlarut sempurna, larutan siap digunakan untuk elektroda.

3.4.5 Pengujian

3.4.5.1 Pengujian *Immerse*

Pengujian *immerse* dilakukan pada benda uji dengan pembebanan $0.6 \sigma_y$ dan $0.8 \sigma_y$ baik pada kondisi sensitisasi maupun non-sensitisasi (tanpa perlakuan panas). Pengujian ini berdasarkan ASTM G 31-72 dimana uji ini adalah untuk merendam material pada larutan tertentu. Tujuan dari uji ini adalah agar benda uji dapat terekspos larutan HCl 1M, H_2SO_4 1M dan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M agar terjadi korosi. Adapun durasi pengujian ini adalah 7 hari.



Gambar 3.10 Benda Uji yang di-*Immerse* pada Larutan Elektrolit

3.4.5.2 Pengujian Makro Visual

Pengujian makro visual dilakukan pada benda uji dengan pembebanan $0.6 \sigma_y$ dan $0.8 \sigma_y$ baik pada kondisi sensitisasi maupun non-sensitisasi (tanpa perlakuan panas). Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop stereo Zeiss Stemi DV4 di Laboratorium Metalurgi Teknik Material ITS Surabaya.



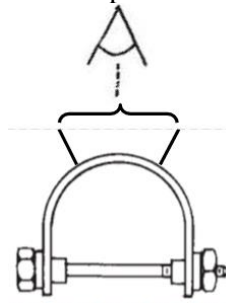
Tujuan dari dilakukan pengamatan makro ini adalah untuk mengetahui morfologi korosi dari benda uji pada bagian permukaan. Adapun bagian permukaan benda uji adalah bagian tengah atau bagian tekukan dari benda uji dimana terdapat tegangan terbesar yang diilustrasikan pada Gambar 3.12.

Adapun tahapan pengujian makro visual adalah sebagai berikut:

1. Benda uji hasil pengujian *immerse* dipotong sesuai daerah pengamatan seperti pada Gambar 3.12
2. Permukaan benda uji diamati dibawah mikroskop stereo dengan perbesaran 32x
3. Mendokumentasikan hasil pengamatan makro visual



Gambar 3.11 Mikroskop Stereo Zeiss Stemi DV4



Gambar 3.12 Titik Pengamatan pada Pengujian Makro Visual

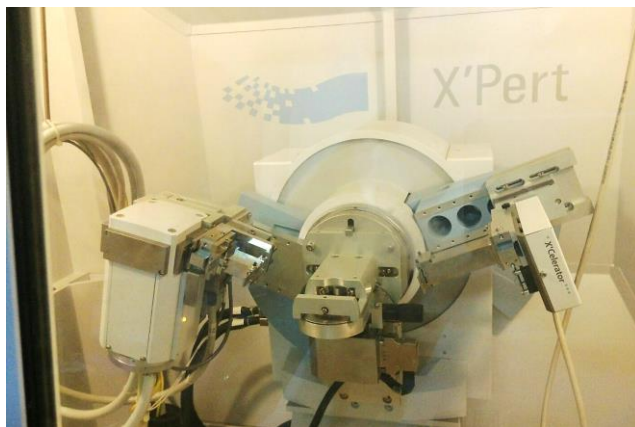


3.4.5.3 Pengujian X-Ray Diffraction

XRD digunakan untuk identifikasi senyawa atau unsur (analisis kualitatif) dan penentuan komposisi kimia (analisis kuantitatif). Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui produk korosi yang terbentuk pada benda uji. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan alat uji X-Ray Diffraction dengan merk PANalytical X'Pert Pro yang terdapat pada Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Adapun tahapan melakukan uji XRD sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji yang telah dilakukan uji *immerse*
2. Benda uji diletakkan pada holder penembakan XRD sesuai yang diinginkan
3. Holder diletakkan ke dalam mesin uji XRD
4. Menembak benda uji dengan sinar x
5. Data tampil pada computer berupa grafik horizontal dengan puncak-puncak grafik pada sudut tertentu
6. Melakukan pengolahan data sehingga diperoleh hasil senyawanya.



Gambar 3.13 Mesin Uji XRD PANalytical



3.4.5.4 Pengujian Mikro Visual

Pengamatan mikro dilakukan pada benda uji dengan pembebanan $0.6 \sigma_y$ dan $0.8 \sigma_y$ baik pada kondisi sensitisasi maupun non-sensitisasi. Pengamatan ini dilakukan dengan menggunakan mikroskop trinokular Olympus BX51M di Laboratorium Metalurgi Teknik Material ITS Surabaya. Bagian yang diamati dari benda uji adalah bagian penampang (*cross section*) yang ditunjukkan pada Gambar 3.17. Tujuan dari pengamatan ini adalah untuk mengetahui kondisi mikrostruktur dan jenis korosi yang terjadi pada benda uji.

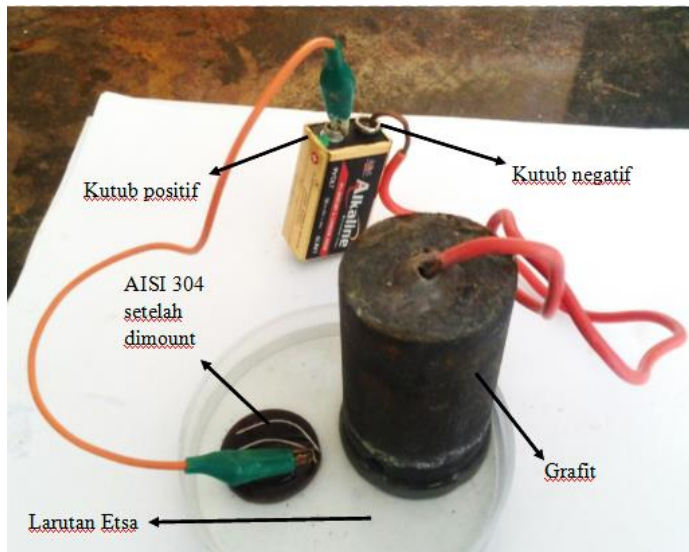
Sebelum dilakukan pengamatan dibawah mikroskop, dilakukan elektroetsa terlebih dahulu untuk mengetahui keberadaan karbida di batas butir setelah benda uji diberikan perlakuan panas dan di-*immerse*. Hal ini dilakukan dengan standar uji ASTM A262-02a

Adapun tahapan pengujian mikro visual adalah sebagai berikut:

1. Benda uji hasil uji *immerse* dipotong secara membujur untuk mendapatkan *cross section* sesuai titik pengamatan pada Gambar 3.17
2. Benda uji dikeraskan dengan resin agar mudah dilakukan proses amplas dan poles
3. Benda uji diampelas dari grade 120 hingga 2000
4. Benda uji kemudian dietsa dengan larutan $H_2C_2O_4$ 10% pada tegangan 9V selama satu setengah menit (90 detik) menggunakan baterai. Etsa bekerja ditandai dengan timbulnya gelembung di permukaan benda uji dan grafit.
5. Benda uji diamati dibawah mikroskop metalografi pada perbesaran 200x
6. Mendokumentasikan hasil uji mikro visual



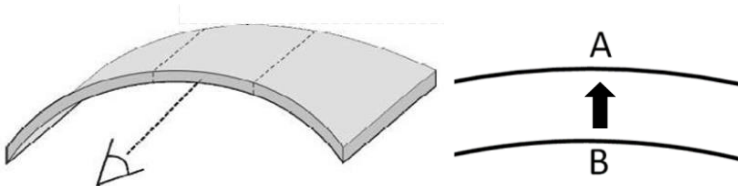
Gambar 3.14 *Cross section* dari AISI 304 dengan *mounting resin*



Gambar 3.15 Skema Cara Elektroetsa



Gambar 3.16 Mikroskop Trinokular Olympus BX51M



Gambar 3.17 Daerah pengamatan penampang melintang metalografi pada Uji Mikro Visual

3.4.5.5 Pengujian *Scanning Electron Microscope*

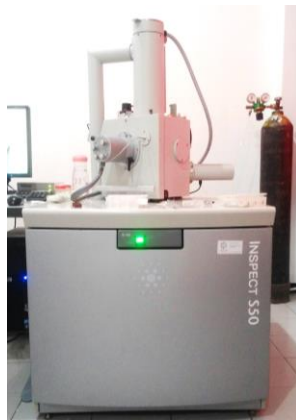
Pengujian SEM dilakukan untuk mengetahui morfologi batas butir benda uji yang tidak dapat terlihat pada pengujian mikro visual. Adapun pengujian SEM ini dilakukan menggunakan FEI Inspect S50 di Laboratorium Karakterisasi Material Departemen Teknik Material FTI-ITS.

Adapun tahapan melakukan uji SEM-EDX adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan benda uji yang telah dilakukan pengujian mikro visual



2. Benda uji diletakkan pada holder agar pengamatan SEM-EDX sesuai yang diinginkan
3. Melakukan *scanning* pada benda uji sehingga didapatkan morfologi dan unsur yang terdapat pada permukaan benda uji
4. Data tampil pada computer berupa Gambar dan grafik yang menyatakan unsur
5. Pengambilan data



Gambar 3.18 Alat Uji SEM INSPECT S50

3.4.5.6 Pengujian *Microhardness*

Pengujian *microhardness* dilakukan berdasarkan ASTM E384 yang digunakan untuk benda uji yang terlalu tipis dan terlalu kecil untuk indenter makro dan lebih spesifik dibandingkan indenter makro. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kekerasan yang terjadi pada daerah korosi yang terbentuk pada benda uji setelah serangkaian pengujian sebelumnya. Adapun permukaan yang di uji adalah penampang melintang benda uji target indentasinya adalah daerah batas butir pada daerah korosi. Adapun alat yang digunakan adalah *Microhardness Tester Wilson 402MVD* pengujian kekerasan Vickers dengan gaya tekan 300 gram dan *dwelling time* 10 detik.



Gambar 3.19 Alat Uji *Microhardness*
Tabel 3.9 Rancangan Data Pengujian

Jenis Perlakuan panas	Besar Tegangan	Jenis Larutan	Makro Visual Permukaan (Jenis Korosi dan Bentuk Korosi)	XRD (Senyawa yang Terbentuk di Permukaan)	Mikro Visual Penampang (Jenis Korosi dan Bentuk Korosi)	SEM (Observasi Batas Butir)	Microhardness (HV)
Non-Sensitivitas	0,6 yield	HCl 1M	v	x	v	x	v
		Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	v	x	v	x	v
		H ₂ SO ₄ 1M	v	x	v	x	v
	0,8 Yield	HCl 1M	v	*	v	x	v
		Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	v	*	v	x	v
		H ₂ SO ₄ 1M	v	*	v	x	v
Sensitivitas	0,6 yield	HCl 1M	v	x	v	x	v
		Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	v	x	v	x	v
		H ₂ SO ₄ 1M	v	x	v	x	v
	0,8 Yield	HCl 1M	v	*	v	v	v
		Na ₂ S ₂ O ₃ 1M	v	*	v	v	v
		H ₂ SO ₄ 1M	v	*	v	v	v

x) Tidak dilakukan Pengujian

*) Bila Secara visual terbentuk korosi yang sama maka dipilih salah satu dari benda uji dengan besar tegangan dan jenis larutan sama untuk diuji



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, maka didapatkan sejumlah data berupa foto, Gambar, dan data numerik yang meliputi nilai komposisi material, foto morfologi permukaan benda uji setelah proses imersi, grafik pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD), foto metalografi penampang benda uji setelah proses imersi, foto morfologi batas butir dari benda uji setelah proses imersi dan nilai kekerasan benda uji setelah proses imersi

4.1.1 Hasil Pengujian Spektrometri

Komposisi unsur seluruh sampel dideteksi menggunakan instrument *Optical Emission Spectrometer* (OES). Dengan hasil pada Tabel 4.1 sebagai berikut:

Tabel 4.1 Komposisi Material Hasil Pengujian *Optical Emission Spectrometer* (OES)

Komposisi (%)	Benda Uji AISI 304	ASTM A240
C	0.0577	Max 0.08
Cr	18.5	18-20
Ni	8.56	8-10.5
Mn	1.176	Max 2.00
Si	0.565	Max 0.75
P	0.0506	Max 0.055
S	0.0054	Max 0.03
Mo	0.0452	-
Fe	71.3	Balance

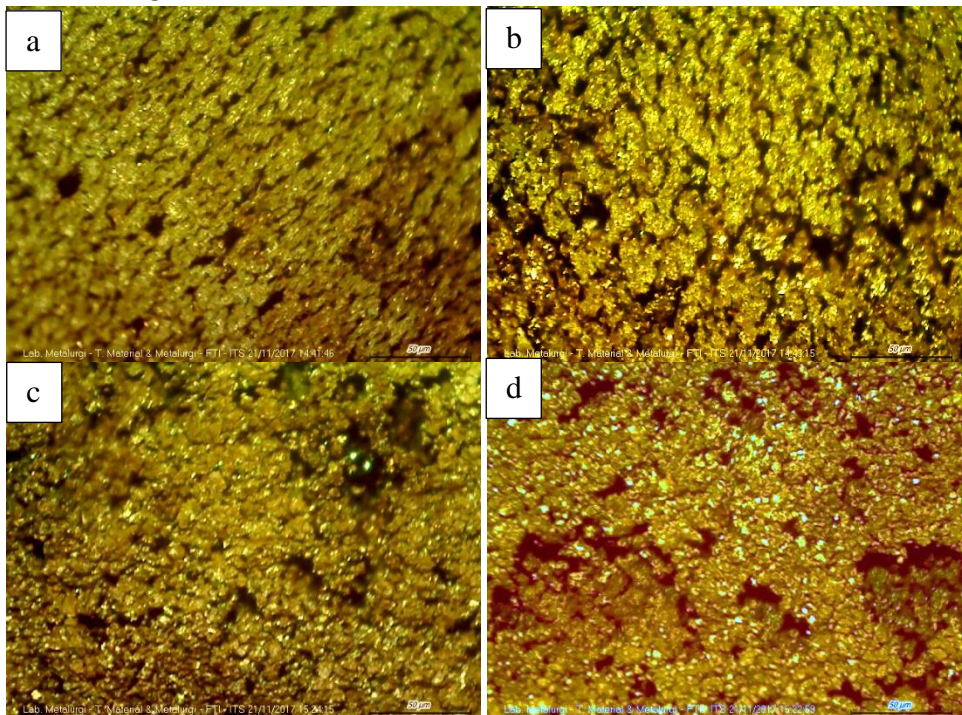
Dari Tabel 4.1 di atas dapat diketahui bahwa benda uji AISI 304 memiliki kadar kromium sebesar 17.5%, kandungan nikel sebesar 8.56%, Mangan sebesar 1.176%, silicon sebesar 0.565%, karbon sebesar 0.0577%, fosfor sebesar 0.0506%, sulfur sebesar 0.0054%, molybdenum sebesar 0.0452%. Hasil pengujian



tersebut menunjukkan bahwa komposisi unsur benda uji AISI 304 telah sesuai dengan standar yang terdapat pada ASTM A240 untuk tipe UNS S30400.

4.1.2 Hasil Pengujian AISI 304 di Lingkungan HCl 1M

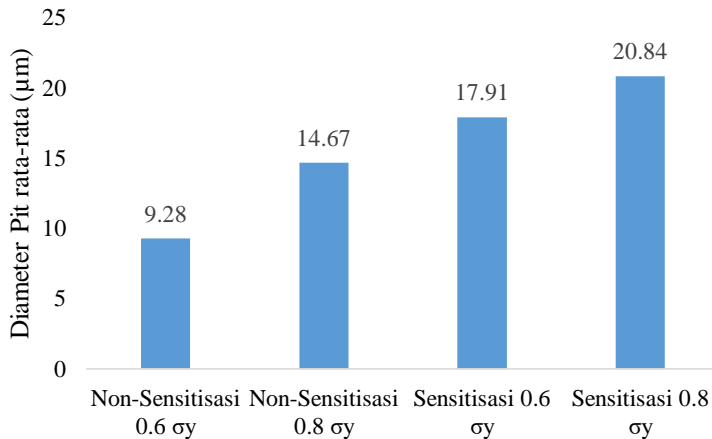
4.1.2.1 Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304 di Lingkungan HCl 1M



Gambar 4.1. Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 pada lingkungan HCl 1M, (a) non-sensitisasi 0.6 σ_y , (b) sensitisasi 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi 0.8 σ_y , (d) sensitisasi 0.8 σ_y pada perbesaran 32x.



Gambar 4.1 menunjukkan morfologi korosi AISI 304 pada lingkungan HCl 1M dengan pembebanan 0.6 σ_y dan 0.8 σ_y baik dalam kondisi sensitisasi maupun non-sensitisasi menunjukkan adanya lubang-lubang dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi pada permukaan benda uji.

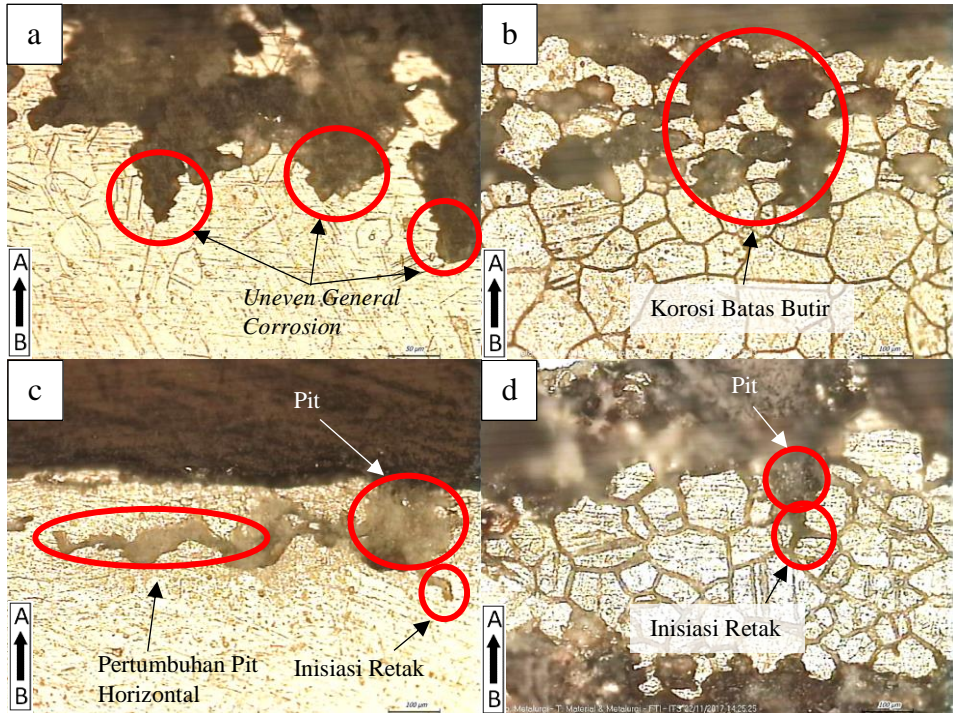


Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Diameter *Pit* Rata-Rata Benda Uji pada Luasan Observasi 1.5 mm² pada lingkungan HCl 1M

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa AISI 304 non-sensitisasi dengan tingkat pembebanan 0.6 σ_y memiliki rata-rata diameter *pit* pada luasan observasi sebesar 1.5 mm² sebesar 9.28 μm , sedangkan AISI 304 sensitisasi dengan tingkat pembebanan 0.6 σ_y memiliki rata-rata diameter *pit* sebesar 14.68 μm . AISI 304 non-sensitisasi dengan tingkat pembebanan 0.8 σ_y memiliki rata-rata diameter *pit* sebesar 17.91 μm , sedangkan AISI 304 sensitisasi dengan tingkat pembebanan 0.8 σ_y memiliki rata-rata diameter *pit* sebesar 20.84 μm . Terlihat adanya peningkatan diameter *pit* rata-rata untuk AISI 304 yang di-sensitisasi, selain itu meningkatnya tingkat beban juga menyebabkan meningkatnya diameter *pit* rata-rata pada AISI 304.



4.1.2.2 Hasil Pengujian Mikro Visual AISI 304 di Lingkungan HCl 1M



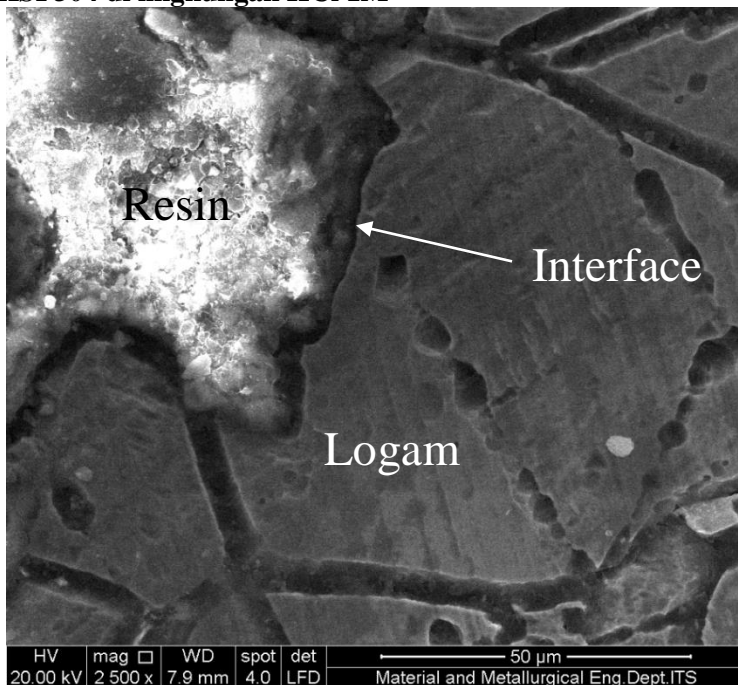
Gambar 4.3 Mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan HCl 1M, (a) non-sensitisasi 0.6 σ_y , (b) sensitisasi 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi 0.8 σ_y , (d) sensitisasi 0.8 σ_y pada perbesaran 200x.

Gambar 4.3 merupakan mikrostruktur penampang AISI 304 pada lingkungan HCl 1M dimana terdapat korosi pada keseluruhan variasi. Gambar 4.3.a menunjukkan adanya korosi seragam tak beraturan (*uneven general corrosion*) dan beberapa *pit* pada permukaan benda uji. Gambar 4.3.b menunjukkan adanya korosi yang menyerang batas butir (*intergranular corrosion*) dan terlihat adanya presipitasi karbida pada batas butir. Gambar 4.3.c



menunjukkan adanya korosi jenis *pitting* dengan pertumbuhan horizontal di bawah permukaan benda uji, selain itu juga terdapat inisiasi retak di dasar *pit*. Gambar 4.3.d menunjukkan adanya korosi seragam tak beraturan pada permukaan benda uji yang terlihat lebih parah dibandingkan pada Gambar 4.3.a. dan terdapat inisiasi retak.

4.1.2.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) AISI 304 di lingkungan HCl 1M



Gambar 4.4 Hasil SEM Morfologi Batas Butir AISI 304 Sensitisasi 0.8 oy yang Kontak dengan HCl 1M perbesaran 2500x.

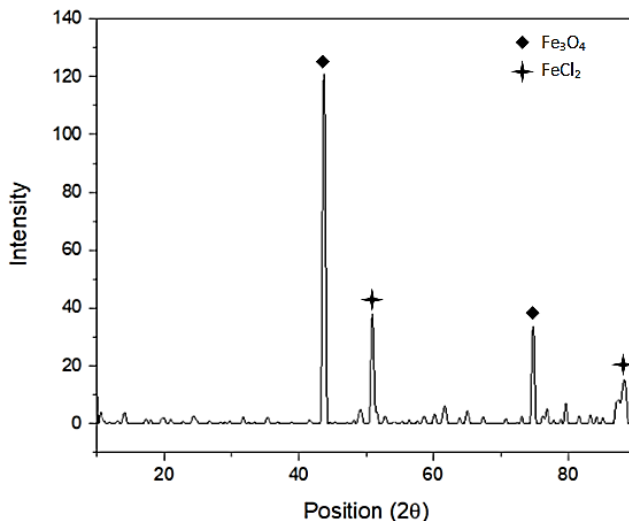
Gambar 4.4 menunjukkan bahwa daerah batas butir AISI 304 dengan kondisi sensitisasi yang kontak langsung dengan HCl



1M menunjukkan adanya korosi batas butir, hal ini sesuai dengan pengamatan menggunakan mikroskop dengan perbesaran 200x. Terlihat pula adanya lubang-lubang yang terbentuk didalam butir.

4.1.2.4 Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) AISI 304 di Lingkungan HCl 1M

Pengujian XRD dilakukan pada benda uji AISI 304 yang telah dilakukan perendaman selama 7 hari. Pengujian XRD dilakukan untuk mengetahui senyawa atau unsur yang terbentuk pada permukaan benda uji setelah dilakukan perendaman. Hasil XRD pada benda uji dilakukan pencocokan berdasarkan puncak tertinggi yang muncul pada grafik hasil pengujian.



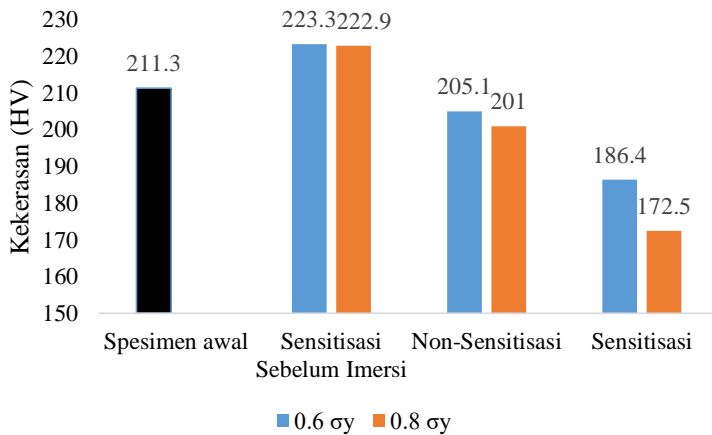
Gambar 4.5 Hasil Pengujian XRD pada AISI 304 Sensitisasi Tingkat Pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada Lingkungan HCl 1M

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa AISI 304 sensitisasi tingkat pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan HCl 1M, posisi



puncak adalah sebagai berikut: senyawa Fe yang bersesuaian dengan COD (*Crystallography Open Database*) 96-901-3488, senyawa FeCl_2 bersesuaian dengan COD 96-901-5714, dan senyawa Fe_3O_4 bersesuaian dengan COD 96-900-5817.

4.1.2.5 Hasil Pengujian *Microhardness* AISI 304 di lingkungan HCl 1M



Gambar 4.6 Data Hasil *Microhardness* AISI 304 setelah proses imersi pada lingkungan HCl 1M

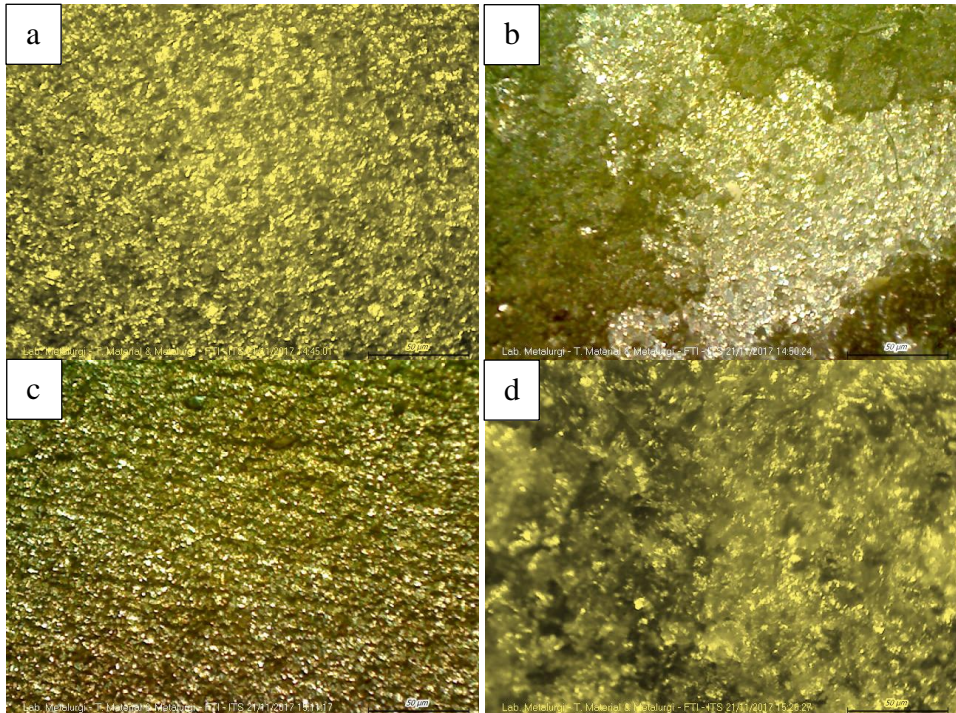
Gambar 4.6 menunjukkan bahwa terdapat kenaikan kekerasan AISI 304 setelah kondisi sensitisasi sebelum imersi dari kondisi awal (*as-received*) yaitu dari 211.3 HV menjadi 223.3 HV pada beban 0.6 σ_y dan 222.9 HV pada beban 0.8 σ_y . Kemudian terdapat penurunan kekerasan pada AISI 304 non-sensitisasi setelah proses imersi pada HCl 1M yaitu menjadi 205.1 HV pada beban 0.6 σ_y dan menjadi 201 HV pada beban 0.8 σ_y . Penurunan kekerasan yang signifikan terjadi pada AISI 304 kondisi sensitisasi



setelah proses imersi HCl 1M yaitu menjadi 186.5 HV pada beban 0.6 σ_y dan menjadi 172.5 HV pada beban 0.8 σ_y

4.1.3 Hasil Pengujian AISI 304 di Lingkungan H_2SO_4 1M

4.1.3.1 Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304 di Lingkungan H_2SO_4 1M



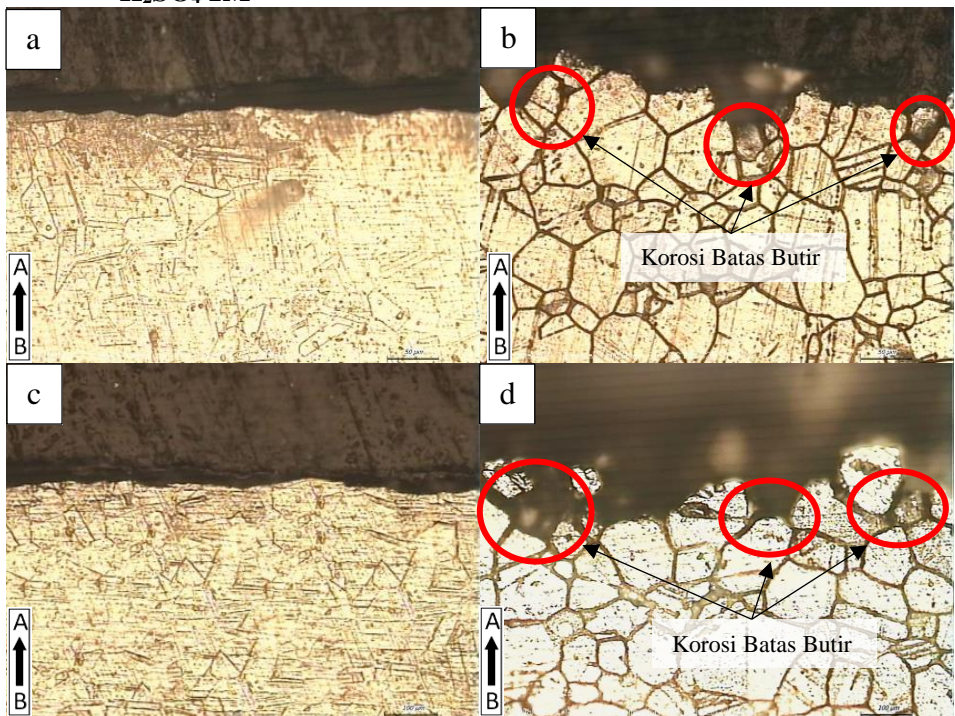
Gambar 4.7 Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 1M, (a) non-sensitisasi 0.6 σ_y , (b) sensitisasi 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi 0.8 σ_y , (d) sensitisasi 0.8 σ_y pada perbesaran 32x.

Gambar 4.7 Merupakan hasil pengujian makro visual morfologi permukaan AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 . Gambar 4.7.a menunjukkan bahwa AISI 304 non-sensitisasi dengan tingkat



pembebanan $0.6 \sigma_y$ tidak ditemukan adanya korosi. Kondisi serupa juga terjadi pada Gambar 4.7.c dimana AISI 304 non-sensitisasi dengan tingkat pembebanan $0.8 \sigma_y$ tidak ditemukan adanya korosi. Kondisi berbeda dialami benda uji dengan perlakuan sensitisasi terlihat pada Gambar 4.7.b dan Gambar 4.7.d bahwa AISI 304 terserang korosi yang ditunjukkan dengan warna kehitaman pada permukaan baja.

4.1.3.2 Hasil Pengujian Mikro Visual AISI 304 di Lingkungan H_2SO_4 1M

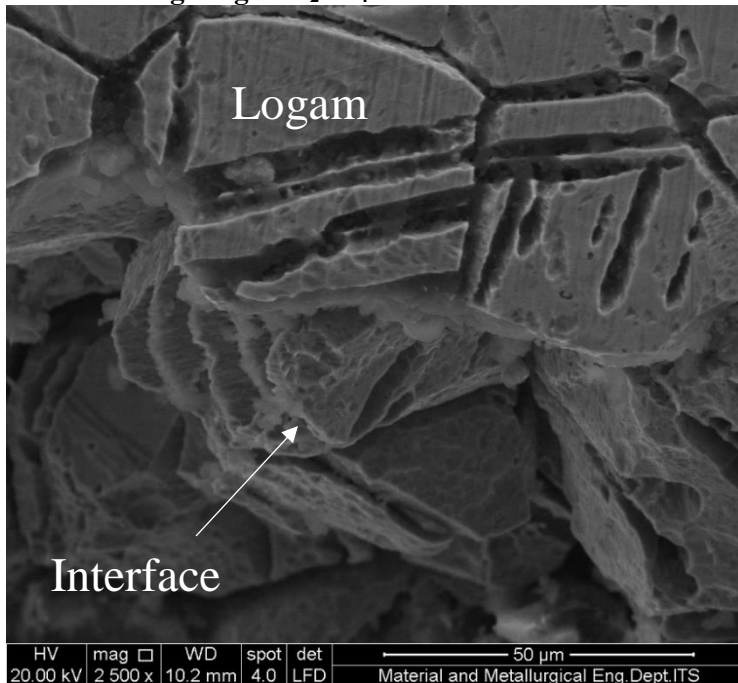


Gambar 4.8 Mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 1M, (a) non-sensitisasi $0.6 \sigma_y$, (b) sensitisasi $0.6 \sigma_y$, (c) non-sensitisasi $0.8 \sigma_y$, (d) sensitisasi $0.8 \sigma_y$ pada perbesaran 200x.



Gambar 4.8 merupakan mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 1M. Gambar 4.8.a menunjukkan bahwa benda uji tidak mengalami korosi, hal serupa juga ditunjukkan pada Gambar 4.8.c. Gambar 4.8.b menunjukkan adanya presipitasi karbida pada batas butir serta terlihat korosi seragam dan adanya korosi batas butir di beberapa bagian permukaan benda uji, hal serupa juga ditunjukkan Gambar 4.8.d yang menunjukkan adanya korosi seragam dan korosi batas butir.

4.1.3.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) AISI 304 di lingkungan H_2SO_4 1M

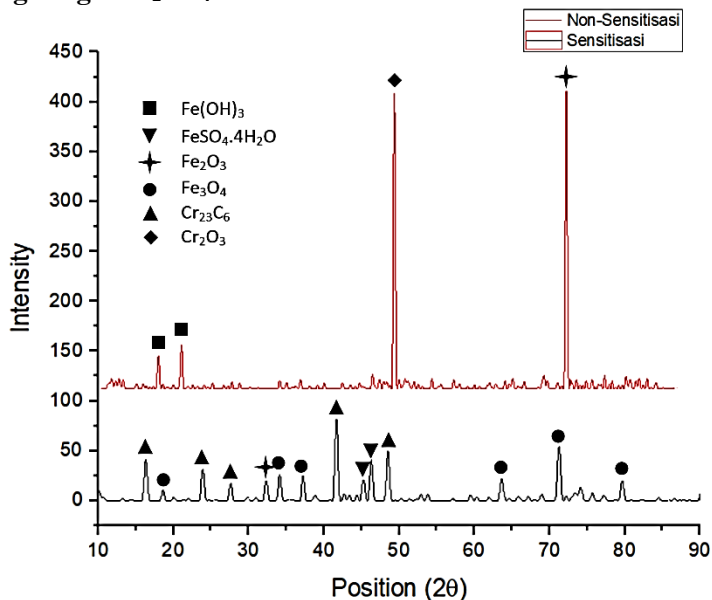


Gambar 4.9 Hasil SEM Morfologi Batas Butir AISI 304 Sensitisasi 0.8 σ_y yang Kontak dengan H_2SO_4 1M perbesaran 2500x



Gambar 4.9 menunjukkan bahwa daerah batas butir AISI 304 dengan kondisi sensitisasi yang kontak langsung dengan H_2SO_4 1M menunjukkan adanya korosi batas butir. Permukaan yang kontak langsung dengan H_2SO_4 1M memiliki morfologi permukaan yang kasar dan sedikit masuk kedalam pada bagian batas butir adalah indikasi korosi yang menyerang batas butir.

4.1.3.4 Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) AISI 304 di Lingkungan H_2SO_4 1M



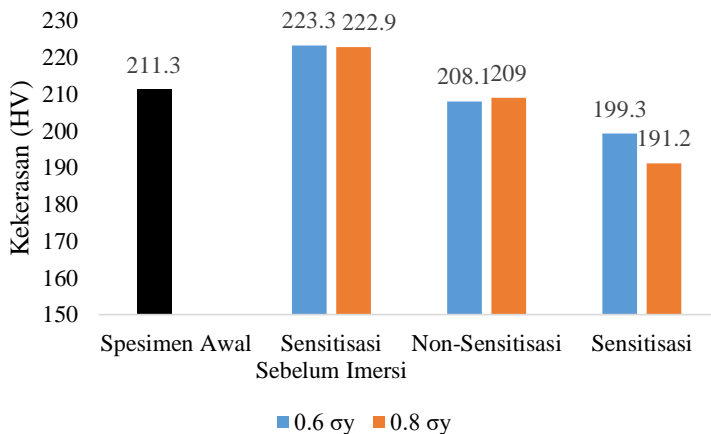
Gambar 4.10 Hasil Pengujian XRD pada AISI 304 Tingkat Pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan H_2SO_4 1M

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa AISI 304 non-sensitisasi tingkat pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan H_2SO_4 1M, posisi puncak adalah sebagai berikut: senyawa Cr_2O_3 yang bersesuaian dengan COD 96-901-5779, senyawa Fe_2O_3 bersesuaian dengan COD 96-901-2693, dan senyawa $\text{Fe}(\text{OH})_3$



bersesuaian dengan COD 96-900-3080. Kemudian AISI 304 sensitisasi tingkat pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan H_2SO_4 1M, posisi puncak adalah sebagai berikut: senyawa $Cr_{23}C_6$ yang bersesuaian dengan COD 96-210-7333, senyawa Fe_3O_4 bersesuaian dengan COD 96-900-2027, senyawa Fe_2O_3 bersesuaian dengan COD 96-400-2384, dan senyawa $FeSO_4 \cdot 4H_2O$ yang bersesuaian dengan COD 96-152-7131.

4.1.3.5 Hasil Pengujian *Microhardness* AISI 304 di lingkungan H_2SO_4 1M



Gambar 4.11 Data Hasil *Microhardness* AISI 304 setelah proses imersi pada lingkungan H_2SO_4 1M

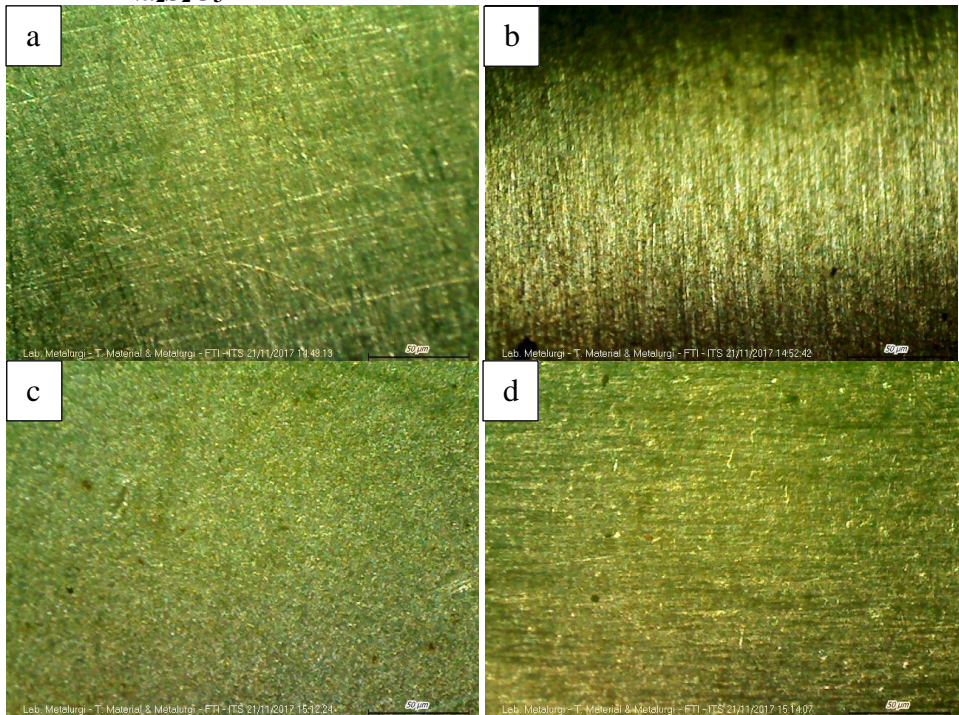
Gambar 4.11 menunjukkan bahwa terdapat kenaikan kekerasan AISI 304 setelah kondisi sensitisasi sebelum imersi dari kondisi awal (*as-received*) yaitu dari 211.3 HV menjadi 223.3 HV pada beban $0.6 \sigma_y$ dan 222.9 HV pada beban $0.8 \sigma_y$. Kemudian terdapat penurunan kekerasan pada AISI 304 non-sensitisasi setelah proses imersi pada H_2SO_4 1M yaitu menjadi 208.1 HV pada



beban $0.6 \sigma_y$ dan menjadi 209 HV pada beban $0.8 \sigma_y$. Penurunan kekerasan terjadi pada AISI 304 kondisi sensitisasi setelah proses imersi H_2SO_4 1M yaitu menjadi 199.3 HV pada beban $0.6 \sigma_y$ dan menjadi 191.2.5 HV pada beban $0.8 \sigma_y$.

4.1.4 Hasil Pengujian AISI 304 di Lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M

4.1.4.1 Hasil Pengujian Makro Visual AISI 304 di Lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M

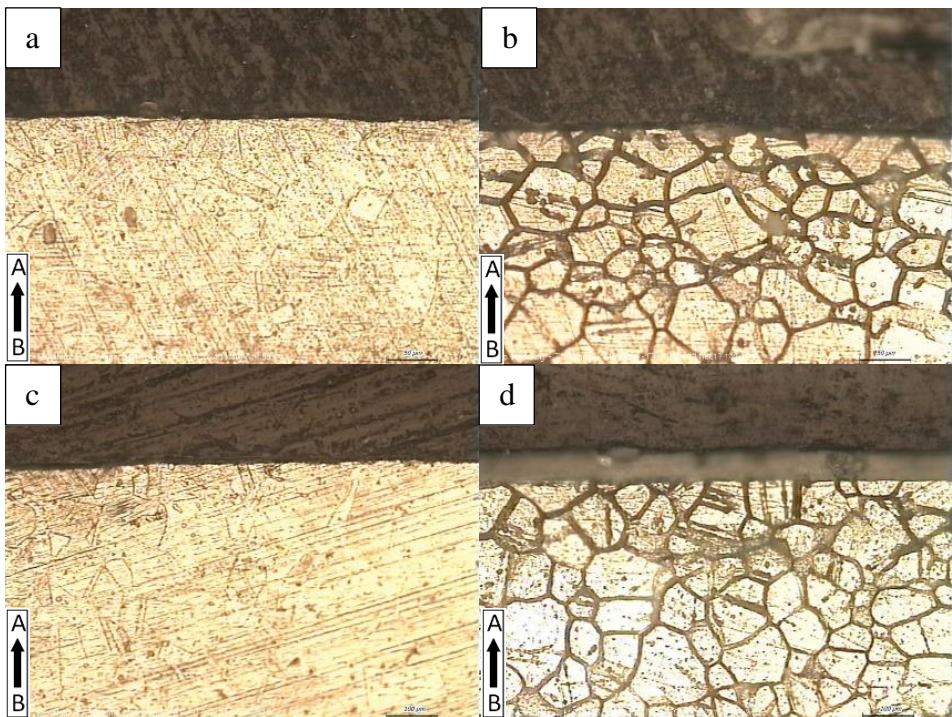


Gambar 4.12 Hasil Pengujian Makro Visual Morfologi Permukaan AISI 304 pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M, (a) non-sensitisasi $0.6 \sigma_y$, (b) sensitisasi $0.6 \sigma_y$, (c) non-sensitisasi $0.8 \sigma_y$, (d) sensitisasi $0.8 \sigma_y$ pada perbesaran 32x.



Gambar 4.12 Merupakan hasil pengujian makro visual morfologi permukaan AISI 304 pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Dari Gambar tersebut dapat diketahui bahwa keseluruhan benda uji baik dalam kondisi sensitisasi dan non-sensitisasi tidak ditemukan adanya korosi.

4.1.4.2 Hasil Pengujian Mikro Visual AISI 304 di Lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M

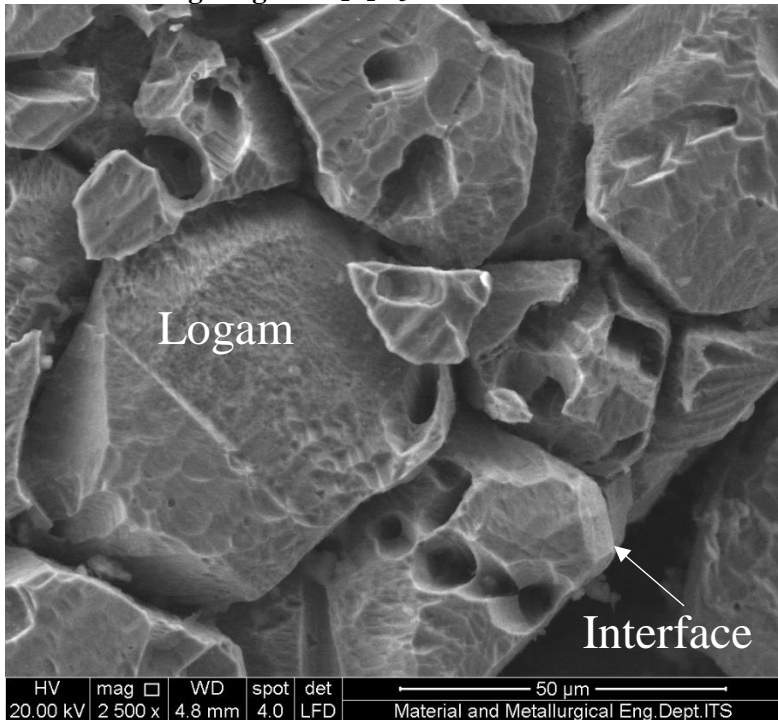


Gambar 4.13 Mikrostruktur dari penampang AISI 304 pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M, (a) non-sensitisasi 0.6 σ_y , (b) sensitisasi 0.6 σ_y , (c) non-sensitisasi 0.8 σ_y , (d) sensitisasi 0.8 σ_y pada perbesaran 200x.



Gambar 4.13 merupakan mikrostruktur penampang AISI 304 pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M. Terlihat bahwa pada Gambar 4.13.a dan Gambar 4.13.c tidak mengalami korosi di permukaan benda uji. Namun Gambar 4.13.d dan Gambar 4.13.d menunjukkan adanya presipitasi karbida namun tidak terlihat adanya korosi yang terbentuk di permukaan benda uji.

4.1.4.3 Hasil Pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) AISI 304 di lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M



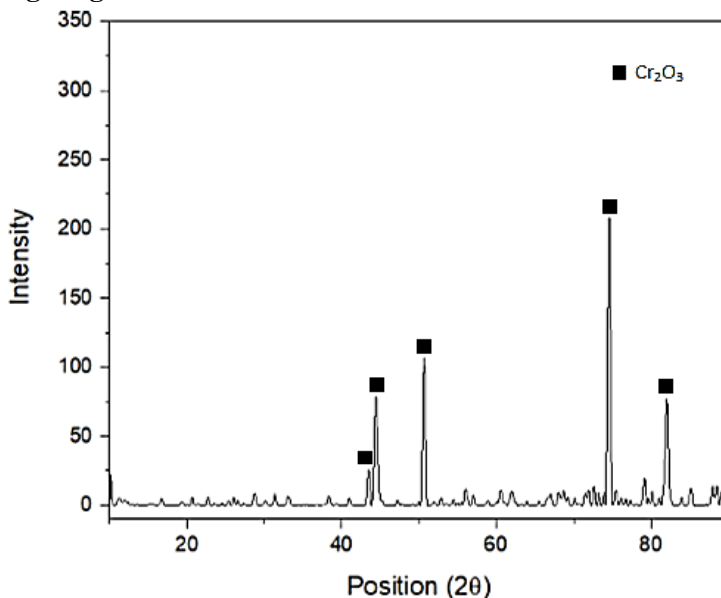
Gambar 4.14 Hasil SEM Morfologi Batas Butir AISI 304 Sensitisasi 0.8 σ_y yang Kontak dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M perbesaran 2500x

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa daerah batas butir AISI 304 dengan kondisi sensitisasi yang kontak langsung dengan



$\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M menunjukkan adanya potensi untuk mengalami korosi batas butir karena terdapat presipitasi karbida di batas butir yang ditandai terkorosinya batas butir setelah proses etsa. Lalu jika diamati, permukaan yang kontak langsung dengan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M memiliki morfologi permukaan tidak terlalu kasar apabila dibandingkan dengan AISI 304 pada lingkungan HCl 1M dan H_2SO_4 1M.

4.1.4.4 Hasil Pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) AISI 304 di Lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M

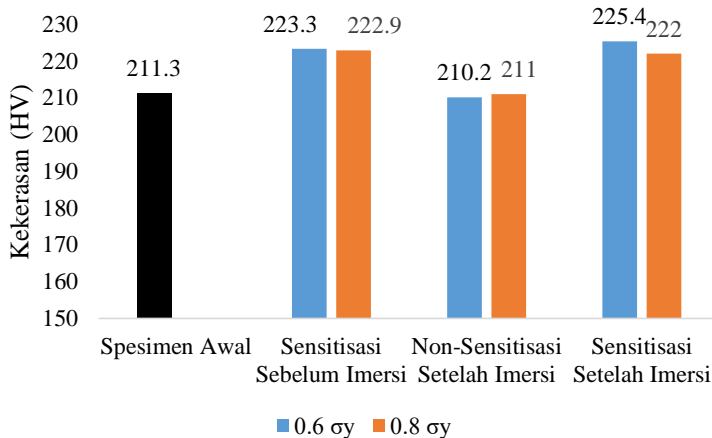


Gambar 4.15 Hasil Pengujian XRD pada AISI 304 Non-Sensitisasi Tingkat Pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada Lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa AISI 304 non-sensitisasi tingkat pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M, posisi puncak adalah sebagai berikut: senyawa Cr_2O_3 bersesuaian dengan COD 96-901-5779.



4.1.4.5 Hasil Pengujian *Microhardness* AISI 304 di lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M



Gambar 4.16 Data Hasil *Microhardness* AISI 304 setelah proses imersi pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M

Gambar 4.16 menunjukkan bahwa kekerasan spesimen awal (*as-received specimen*) adalah 211.3 HV. Kemudian AISI 304 non-perlakuan dengan tingkat beban 0.6 σ_y dan beban 0.8 σ_y berturut-turut adalah 210.2 HV dan 211 HV. Kemudian kekerasan AISI 304 sensitisasi dengan tingkat beban 0.6 σ_y dan 0.8 σ_y berturut-turut sebesar 225.4 HV dan 222 HV. Terlihat tidak ada perubahan kekerasan AISI 304 setelah proses imersi pada $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M pada kondisi non-sensitisasi. Lalu terlihat juga bahwa AISI 304 pada kondisi sensitisasi setelah proses imersi mengalami kenaikan kekerasan.



4.2 Pembahasan

Hasil pengujian spektrometri pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa benda uji yang digunakan memiliki kandungan kromium sebesar 18.5%, nikel sebesar 8.56%, mangan sebesar 1.176% dan karbon sebesar 0.0577% sehingga benda uji ini dikategorikan sebagai AISI 304 karena memenuhi kriteria AISI 304 pada standar ASTM A240.

Berdasarkan Gambar 4.1 yang merupakan hasil pengujian makro visual morfologi korosi pada permukaan AISI 304 pada lingkungan HCl 1M dengan pembebanan $0.6 \sigma_y$ dan $0.8 \sigma_y$ baik dalam kondisi sensitisasi maupun non-sensitisasi menunjukkan adanya lubang-lubang dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi pada permukaan benda uji. Hal ini menandakan bahwa terjadi korosi jenis *pitting* pada AISI 304 pada lingkungan HCl 1M.

Sebelum terjadi *pitting* AISI 304 terproteksi karena terdapat lapisan Cr_2O_3 di permukaan baja. Dalam kondisi yang asam sekalipun AISI 304 akan terus membentuk lapisan Cr_2O_3 di permukaan, melihat Gambar 2.12 dimana AISI 304 pada HCl 1M yang memiliki pH 0 terdapat pada daerah Cr^{3+} yang kemudian bereaksi dengan H_2O membentuk Cr_2O_3 .

Pitting terjadi karena ada mekanisme penetrasi yang melibatkan difusi ion Cl^- dari elektrolit melewati lapisan Cr_2O_3 menuju permukaan logam. Kemudian ion Cl^- bereaksi dengan Fe^{2+} yang mengakibatkan rusaknya lapisan Cr_2O_3 sehingga menyebabkan luasan kecil logam terekspos pada elektrolit sehingga terbentuk *pit*. *Pit* ini bertindak sebagai anoda yang kecil, sedangkan lapisan sekitarnya bertindak sebagai katoda yang besar. Banyaknya ion Fe^{2+} di dalam *pit* menyebabkan semakin banyak ion Cl^- yang tertarik menuju *pit* sehingga korosi berlangsung dengan cepat di dalam *pit* (Loto, et al., 2015). Hasil pengujian *X-Ray Diffraction* (XRD) yang telah dilakukan pada benda uji AISI 304 terlihat pada Gambar 4.5 menunjukkan bahwa produk korosi di dalam *pit* terdeteksi senyawa FeCl_2 dan Fe_3O_4 hal ini sesuai dengan reaksi pada persamaan 2.6 dan 2.7.



Gambar 4.2 menunjukkan bahwa semakin besar tegangan yang diberikan maka semakin besar diameter *pit* yang dihasilkan, hal ini dikarenakan dengan meningkatnya tegangan tarik menyebabkan pori-pori lapisan Cr_2O_3 menjadi lebih besar sehingga lebih banyak ion Cl^- yang berdifusi dibandingkan saat kondisi tidak mendapat tegangan. Hal ini berarti bahwa tegangan membantu adsorpsi ion klorida, sehingga kerusakan lapisan Cr_2O_3 dipercepat dengan adanya tegangan tarik pada permukaan AISI 304 (Yang & Luo, 2001), hal ini juga menjawab mengapa *pitting* lebih banyak terjadi pada bagian logam yang mengalami tegangan tarik yang tinggi. Kemudian diketahui juga dari Gambar 4.2 bahwa dengan sensitisasi maka diameter *pit* menjadi lebih besar, hal ini dikarenakan pertumbuhan *pit* sangat dipengaruhi oleh jumlah luasan anoda dan katoda yang terdapat pada AISI 304. Diketahui bahwa sensitisasi menyebabkan banyaknya presipitasi Cr_{23}C_6 di batas butir. Presipitasi ini yang menjadi anoda pada AISI 304 sehingga sensitisasi menyebabkan luasan daerah anoda menjadi lebih besar. Pertumbuhan *pit* cenderung tumbuh pada daerah anoda, oleh karena itu *pit* lebih cepat tumbuh untuk AISI 304 yang tersensitisasi (Ribeiro, et al., 2013).

Hasil pengujian mikro visual penampang AISI 304 pada lingkungan HCl 1M pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan jenis korosi yang ditunjukkan oleh AISI 304. Pada AISI 304 non-sensitisasi dengan pembebanan $0.6 \sigma_y$ mengalami korosi merata tak beraturan dengan beberapa *pit* yang ditunjukkan oleh Gambar 4.3.a. Hal ini dikarenakan semakin besar derajat deformasi yang terjadi pada AISI 304 maka menyebabkan berkurangnya stabilitas dan ketahanan dari lapisan Cr_2O_3 sehingga di waktu yang bersamaan merubah morfologi dari serangan korosi jenis *pitting* menjadi korosi merata tak beraturan (Mazza, et al., 1979). Gambar 4.3.b menunjukkan adanya korosi batas butir, hal ini disebabkan karena sensitisasi mengakibatkan adanya presipitasi Cr_{23}C_6 sehingga korosi lebih cenderung menyerang bagian disekitar batas butir yang kekurangan krom (McGuire, 2008). Pernyataan ini diperkuat dengan hasil uji SEM pada Gambar 4.4



yang menunjukkan penjararan korosi berada pada batas butir. Selain itu terlihat pula adanya pelebaran batas butir AISI 304 membuktikan bahwa terdapat presipitasi Cr_{23}C_6 di batas butir. Kemudian Gambar 4.3.d menunjukkan korosi merata tak beraturan yang secara morfologi serupa dengan Gambar 4.3.a namun terlihat lebih parah. Lalu dari Gambar 4.3 terlihat adanya inisiasi retak yang terdapat di dasar *pit* maupun di ujung korosi batas butir. Inisiasi retak ini merupakan awal dari SCC dimana SCC pada AISI 304 di lingkungan HCl pada temperatur kamar (25 °C) terjadi pada rentang konsentrasi 0.5M HCl hingga 1M HCl (Bianchi, et al., 1972).

Hasil pengujian *microhardness* AISI 304 pada lingkungan HCl 1M yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6 terjadi peningkatan kekerasan pada AISI 304 setelah proses sensitisasi. Kenaikan kekerasan ini diakibatkan oleh presipitasi karbida krom pada batas butir (Hasan & Alrubaiey, 2017). Kemudian terjadi penurunan kekerasan setelah proses imersi pada HCl 1M baik akibat bertambahnya tingkat beban maupun akibat kondisi sensitisasi. Hal ini disebabkan oleh adanya korosi batas butir dan korosi *pitting* (Hasan & Alrubaiey, 2017). Diketahui bahwa korosi *pitting* maupun korosi batas butir mengurangi kekerasan logam dikarenakan terdapat *material loss/mass loss* di bawah permukaan (Obert, et al., 2000).

Berdasarkan hasil pengujian makro visual permukaan AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 1M pada Gambar 4.7 diketahui bahwa AISI 304 non-sensitisasi baik dengan tingkat pembebanan 0.6 σ_y dan 0.8 σ_y tidak mengalami korosi seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.a dan Gambar 4.7.c. Hasil serupa juga didapatkan dari hasil pengujian mikro visual penampang AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 1M pada Gambar 4.8.a dan Gambar 4.8.c. AISI 304 tidak mengalami korosi karena adanya Cr_2O_3 yang terbentuk. Gambar 2.12 yang menunjukkan bahwa AISI 304 pada H_2SO_4 1M yang memiliki pH 0.3 terdapat pada daerah Cr^{3+} yang bereaksi dengan H_2O^- membentuk Cr_2O_3 . Hal ini dibuktikan dengan hasil pengujian XRD pada AISI 304 non-sensitisasi dengan tingkat



pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan H_2SO_4 1M yang ditunjukkan oleh Gambar 4.10 dimana terdeteksi senyawa Cr_2O_3 . Lapisan Cr_2O_3 diketahui merupakan lapisan yang sangat tipis dan tidak kasat mata yang mampu melindungi AISI 304 dari reaksi oksidasi (Sumarji, 2011).

Berdasarkan hasil makro visual permukaan AISI 304 di lingkungan H_2SO_4 1M pada Gambar 4.7.b dan Gambar 4.7.d menunjukkan bahwa AISI 304 dengan kondisi sensitisasi mengalami korosi. Kondisi ini sesuai dengan hasil mikro visual penampang yang terlihat pada Gambar 4.8.b dan Gambar 4.8.d bahwa terdapat korosi batas butir di permukaan AISI 304. Hasil SEM pada Gambar 4.9 juga menunjukkan hal serupa dimana terdapat korosi batas butir pada AISI 304 ditandai dengan permukaan (*interface*) yang tidak rata dan cenderung bagian batas butir lebih masuk ke dalam (terserang korosi). Sensitisasi menyebabkan AISI 304 tidak memiliki cukup kromium untuk membentuk lapisan Cr_2O_3 , akibatnya AISI 304 bereaksi dengan H_2SO_4 sehingga terkorosi (Loto, et al., 2015). Hal ini dibuktikan dengan hasil uji XRD yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dimana pada AISI 304 kondisi sensitisasi dengan tingkat pembebanan $0.8 \sigma_y$ pada lingkungan H_2SO_4 1M terdeteksi senyawa Cr_{23}C_6 , Fe_3O_4 sesuai dengan reaksi pada persamaan 2.18, Fe_2O_3 sesuai dengan reaksi pada persamaan 2.17, dan senyawa $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ yang sesuai dengan reaksi pada persamaan 2.19.

Anion dalam urutan $\text{SiO}_3^- < \text{Cl}^- < \text{CrO}_4^{2-} < \text{SO}_4^{2-}$ menyebabkan korosi batas butir bahkan SCC pada baja tahan karat tersensitisasi (Sambongi, 1998). Kemudian walaupun tidak terlihat secara jelas inisiasi retak pada Gambar 4.8 dan hanya korosi batas butir yang terlihat, inisiasi retak AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 dimulai dari korosi batas butir (Sunada, et al., 2006).

Gambar 4.11 menunjukkan hasil pengujian *microhardness* AISI 304 pada lingkungan H_2SO_4 1M terjadi peningkatan kekerasan pada AISI 304 setelah proses sensitisasi. Kenaikan kekerasan ini diakibatkan oleh presipitasi karbida krom pada batas butir (Hasan & Alrubaiey, 2017). Lalu setelah proses



imersi terjadi penurunan kekerasan baik akibat bertambahnya tingkat beban maupun akibat kondisi sensitisasi. Kondisi ini serupa dengan AISI 304 pada lingkungan HCl dimana akibat korosi batas butir menyebabkan *material loss/mass loss* di bawah permukaan sehingga logam berkurang kekerasannya (Obert, et al., 2000).

Hasil pengujian makro visual permukaan AISI 304 pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa tidak terjadi korosi di keseluruhan kondisi AISI 304 meskipun terdapat presipitasi karbida di batas butir akibat sensitisasi seperti yang ditunjukkan oleh hasil uji SEM pada Gambar 4.14. Kondisi ini diperjelas oleh hasil mikro visual penampang pada Gambar 4.13 yang juga menunjukkan tidak terjadi korosi. Gambar 2.12 menunjukkan bahwa $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M yang memiliki pH 8.4 terdapat pada daerah $\text{Cr}(\text{OH})_3$. Diketahui bahwa $\text{Cr}(\text{OH})_3$ bersifat kurang stabil dan $\text{Cr}(\text{OH})_3$ memiliki kecenderungan untuk berubah menjadi Cr_2O_3 seperti yang ditunjukkan persamaan pada reaksi 2.21 (Feron & Olive, 2007). Hal ini dibuktikan oleh hasil XRD pada Gambar 4.15 yang juga terdeteksi senyawa Cr_2O_3 . Selain itu diketahui bahwa thiosulfate ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) hanya mampu menghalangi pembentukan lapisan Cr_2O_3 namun thiosulfate tidak mampu merusak lapisan tersebut (Laitinen, 1999).

Hasil pengujian *microhardness* AISI 304 pada lingkungan $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 1M yang ditunjukkan oleh Gambar 4.16 terjadi peningkatan kekerasan pada AISI 304 setelah proses sensitisasi. Kenaikan kekerasan ini diakibatkan oleh presipitasi karbida krom pada batas butir (Hasan & Alrubaiey, 2017). Kemudian setelah proses imersi tidak terjadi perubahan kekerasan karena memang tidak terdapat korosi yang terjadi.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Sensitisasi pada AISI 304 menyebabkan terjadinya korosi jenis *pitting*, korosi seragam tak beraturan, korosi batas butir serta inisiasi retak pada elektrolit HCl. Kemudian korosi seragam dan korosi batas butir pada elektrolit H_2SO_4 . Dan tidak menyebabkan korosi pada elektrolit $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ Resiko terjadinya korosi tersebut meningkat dengan meningkatnya pembebanan. Selain itu sensitisasi meningkatkan kekerasan di batas butir akibat adanya presipitasi Cr_{23}C_6 .
2. Perilaku korosi baja AISI 304:
 - a. Pada elektrolit HCl, besar diameter rata-rata *pit* yang terbentuk di permukaan AISI 304 meningkat dengan kondisi sensitisasi dan meningkatnya pembebanan. Ditemukan produk korosi berupa FeCl_2 dan Fe_3O_4 . Pada kondisi sensitisasi terjadi penurunan kekerasan di batas butir akibat korosi.
 - b. Pada elektrolit H_2SO_4 , AISI 304 kondisi sensitisasi ditemukan produk korosi berupa Fe_3O_4 , Fe_2O_3 dan $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Pada kondisi sensitisasi mengalami penurunan kekerasan di batas butir akibat korosi.
 - c. Pada elektrolit $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$, AISI 304 tidak ditemukan adanya produk korosi dan ditemukan Cr_2O_3 di permukaan.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, didapatkan beberapa saran sebagai berikut:

1. Fokus pada salah satu larutan elektrolit kemudian menambah variasi konsentrasi untuk melihat pengaruh konsentrasi elektrolit terhadap perilaku korosi AISI 304.
 2. Menambah variasi pembebanan hingga AISI 304 meregang hingga daerah plastis untuk mengetahui pengaruh regangan elastis dan plastis terhadap perilaku korosi AISI 304.
-



(Halaman ini sengaja dikosongkan)



DAFTAR PUSTAKA

- Abd Razak, N. A., Asmara, Y. P. & Kamaruzaman, M. K., 2014. Influences of H_2SO_4 and NaCl Concentrations on Stress Corrosion Cracking of AISI 304 Stainless Steel. *Advanced Materials Research*, Volume 893, pp. 410-414.
- Acello, S. J. & Green, N. D., 1962. Anodic protection of austenitic stainless steels in sulfuric acid-chloride media. *Corrosion*, 18(8), pp. 286-290.
- Aini, N., 2016. *Perilaku Korosi Baja AISI 1021 dan AISI 304 di Berbagai Lingkungan Asam*. Surabaya: ITS Surabaya.
- Almubarak, A., Belkharhouche, M. & Hussain, A., 2010. Stress Corrosion Cracking of Sensitized Austenitic Stainless Steels in Kuwait Petroleum refineries. *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 57(2), pp. 58-64.
- ASTM, 2003. *Standard Practice for Making and Using U-Bend Stress Corrosion Test Specimens*. West Conshohocken: ASTM International.
- ASTM, 2004. *Standard Specification for Chromium and Chromium-Nickel Stainless Steel Plate, Sheet, and Strip for Pressure Vessels and for General Applications*. West Conshohocken: ASTM International.
- Bianchi, G., Mazza, F. & Torchio, S., 1972. Stress-corrosion cracking of austenitic stainless steel in hydrochloric acid media at room temperature. *Corrosion Science*, Volume 13, pp. 165-173.
- Callister, W. D. & Rethwisch, D. G., 2014. *Material Science and Engineering*. 9th ed. Danver: John Wiley & Sons Inc.
- Chenier & Philip, J., 1987. *Survey of Industrial Chemistry*, New York: John Wiley & Sons.
- Feron, D. & Olive, J. M., 2007. *Corrosion issues in light water reactors*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited.
- Fontana & Greene, 1978. *Corrosion Engineering*. s.l.:Mc Graw Hill.
- Gadang, P., 2008. *Korosi Retak Tegang Material Stainless Steel AISI 304 di Lingkungan MgCl_2* . Depok: Researchgate.
-



- Harwood, J., 1956. *Stress Corrosion Cracking and Embrittlement*. 1 ed. s.l.:John Wiley & Sons.
- Hasan, S. F. & Alrubaiey, S. I. J., 2017. Effect of Sensitization on Microhardness and Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steel. *Journal of Computation and Applied Sciences IJOCAAS*, 2(2).
- Jones, R. H. & Ricker, R. E., 1992. Mechanisms of Stress-Corrosion Cracking. In: R. H. Jones, ed. *Stress-Corrosion Cracking Materials Performance and Evaluation*. Ohio: ASM International, pp. 1-40.
- Jones, R. & Ricker, R., 1992. Mechanisms of Stress-Corrosion Cracking. In: R. H. Jones, ed. *Stress-Corrosion Cracking Material Performance and Evaluation*. Ohio: ASM International, pp. 1-40.
- Kruger, J., 1980. *Stress Corrosion Cracking*. Israel: Freund Publishing House.
- Laitinen, T., 1999. *Thiosulfate Pitting Corrosion of Stainless Steels in Paper Machine Environment*, Espoo: Helsinki University of Technology.
- Logan, H. L., 1971. NACE Basic Corrosion Course. *NACE Publication*, pp. 10-13.
- Loto, R. T., Joseph, O. O. & Akanji, O., 2015. Electrochemical Corrosion Behaviour of Austenitic Stainless Steel (type 304) in Dilute Hydrochloric Acid Solution. *Journal of Material and Environmental Science*, pp. 2409-2417.
- Loto, R. T., Loto, C. A., Popoola, A. P. & Ranyaoa, M., 2012. Corrosion Resistance of Austenitic Stainless Steel in Sulphuric Acid. *International Journal of Physical Sciences*, 7(10), pp. 1677-1688.
- Maulana, F. H. & Sulistijono, 2015. Pengaruh Temperatur Sensitisasi dan Variasi Pembebanan terhadap Laju Korosi SS409 pada Lingkungan Salt Spray. *Jurnal Teknik ITS*, 4(1).
- Mazza, B. et al., 1979. Electrochemical and Corrosion Behaviour of Work-Hardened Commercial Austenitic Stainless Steel in
-



- Acid Solutions. *Corrosion Science*, Volume 19, pp. 907-920.
- McCafferty, E., 2010. *Introduction to Corrosion Science*. New York: Springer Science+Business Media.
- McGuire, M., 2008. *Stainless Steels for Design Engineers*. 1st ed. Ohio: ASM International.
- Obert, B., Hashemi, J., Ekwaro-Osire, S. & Sivam, T. P., 2000. Investigation of the Reduction in Tensile Strength and Fatigue Life of Pre-Corroded 7075-T6 Aluminum Alloy. *Journal of Materials Engineering and Performance*, Volume 9, pp. 441-448.
- Parvathavarthini, N., 2002. Sensitization and Testing for Intergranular Corrosion. In: H. Khatak & B. Raj, eds. *Corrosion of Austenitic Stainless Steels*. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, pp. 117-138.
- Perry, R., Green, D. & Maloney, J., 1984. *Perry's Chemical Engineer's Handbook*. 6th ed. s.l.:McGraw-Hill Book Company.
- Ribeiro, R. B. et al., 2013. Morphology Characterisation of Pitting Corrosion on Sensitized Austenitic Stainless Steel by Digital Image Analysis. *International Journal of Corrosion*, pp. 1-7.
- Saefudin, 2008. Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Sensitasi pada Baja Stainless Steel 304. *Metalurgi*, 23(2).
- Sambongi, M., 1998. *Effect of Reactor Water Impurities on ECP and SCC*. Tokyo, JAIF International Conference on Water Chemistry in Nuclear Power Plants.
- Sedriks, A. J., 1976. *Corrosion of Stainless Steels*. New York: John Wiley & Sons. Inc.
- Sugiyarto, K. H., 2004. *Common Textbook Kimia Anorganik I*. s.l.:IMSTEP.
- Suherman, W., 1999. *Ilmu Logam 2*. Surabaya: ITS Press.
- Sumarji, 2011. Studi Perbandingan Ketahanan Korosi Stainless Steel Tipe SS 304 dan SS 201 Menggunakan Metode U-

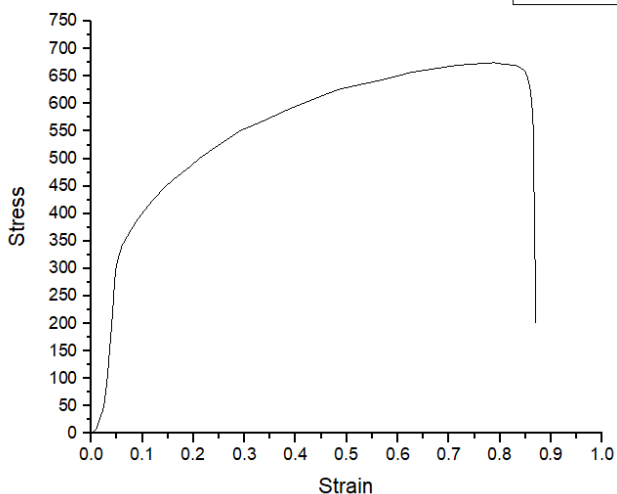
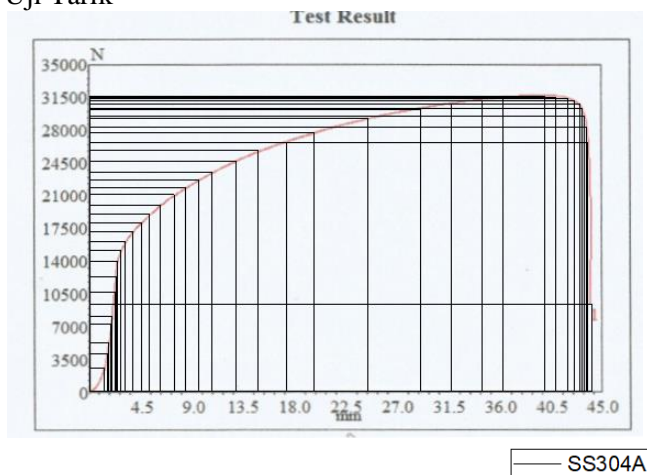


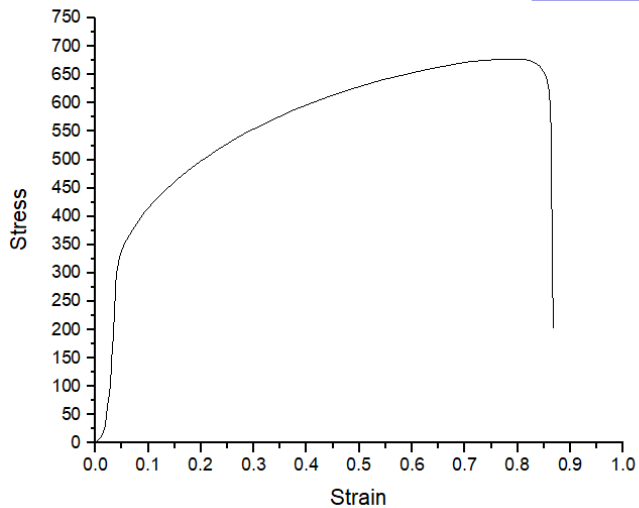
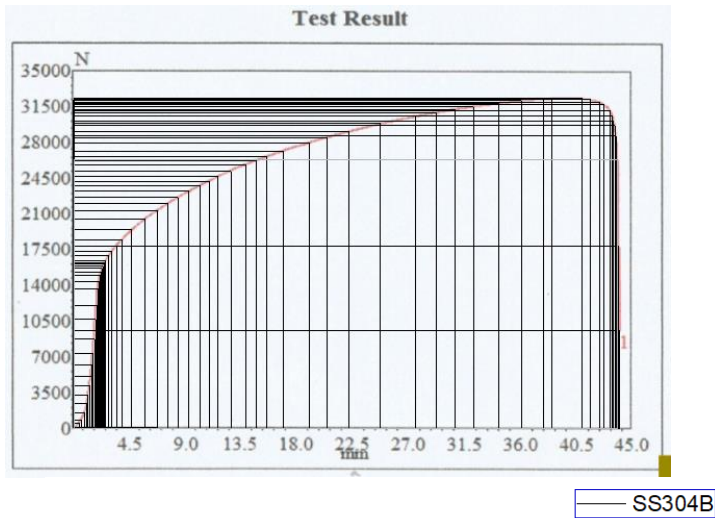
- Bend Test Secara Siklik dengan Variasi Suhu dan pH. *Jurnal ROTOR*, 4(1), pp. 1-8.
- Sunada, S., Kariba, M., Majima, K. & Sugimoto, K., 2006. Influences of Concentrations of H_2SO_4 and NaCl on Stress Corrosion Cracking of SUS304 Stainless Steel in H_2SO_4 –NaCl Aqueous Solutions. *Materials Transactions*, 47(2), pp. 364-370.
- Tsujikawa, S. et al., 1993. Alternative for evaluating for sour gas resistance of low-alloys steels and corrosion-resistant alloys. *Corrosion*, Volume 49, p. 409.
- Vogel, 1979. *Textbook of Macro and Semimicro Qualitative Inorganic Analysis*. London: Longman Group Limited.
- Yakub, Y. & Nofri, M., 2013. Variasi Arus Listrik terhadap Sifat Mekanik Mikro Sambungan Las Baja Tahan Karat Aisi 304. *E-Journal Widya Eksakta*, I(1), pp. 7-11.
- Yang, D., 2011. *Cyclic Stress Effect on Stress Corrosion Cracking of Duplex Stainless Steel in Chloride and Caustic Solutions*, Atlanta: Georgia Institute of Technology.
- Yang, Q. & Luo, J. L., 2001. Effects of Hydrogen and Tensile Stress on the Breakdown of Passive Films on Type 304 Stainless Steel. *Electrochimica Acta*, Volume 46, pp. 851-859.
- You, H.-x., Xu, H.-b. & Zhang, Y., 2010. Potential-pH diagrams of Cr-H₂O system at elevated temperatures. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Volume 20, pp. s26-s31.

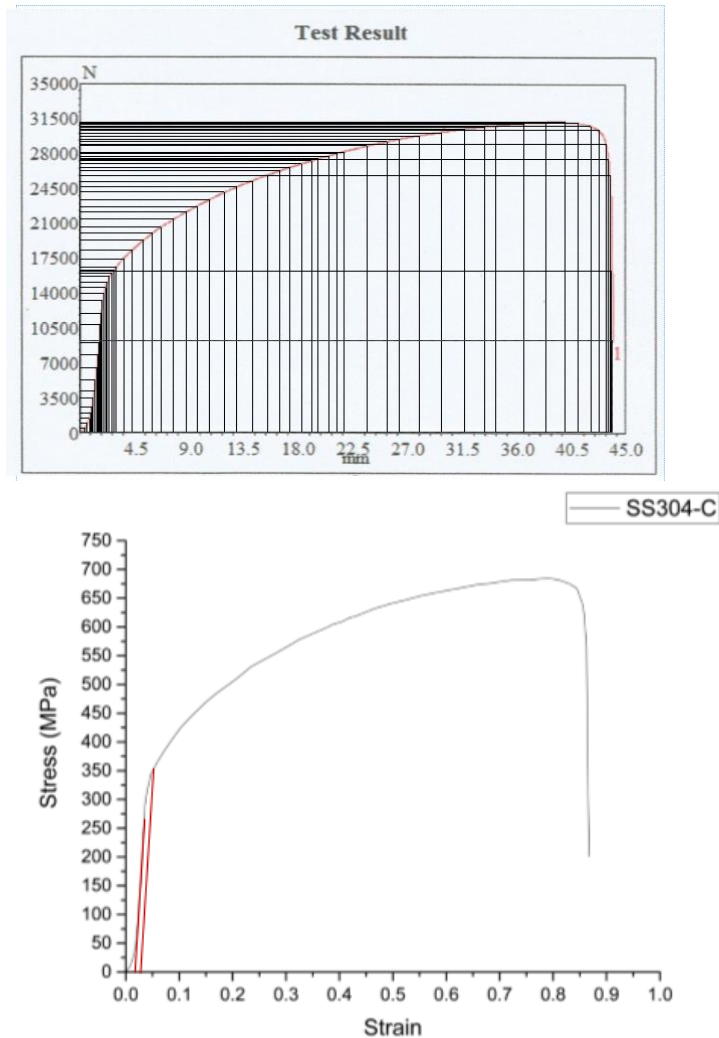


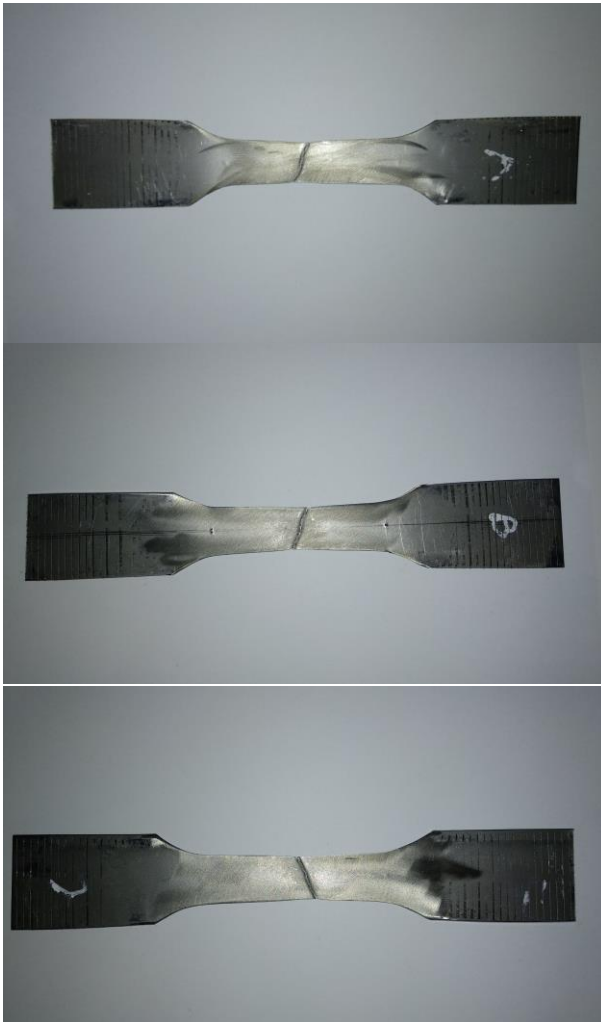
LAMPIRAN

Hasil Uji Tarik











Perhitungan pH elektrolit

$$pH = -\log[H^+]$$

- HCl 1M
 $HCl \rightarrow H^+ + Cl^-$

$$pH = -\log[H^+]$$

$$pH = -\log[1]$$

$$pH = 0$$

- H₂SO₄ 1M
 $H_2SO_4 \rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$

$$pH = -\log[H^+]$$

$$pH = -\log[2]$$

$$pH = 0.3$$

- Na₂S₂O₃ 1M
 $Na_2S_2O_3 \rightarrow 2Na^+ + S_2O_3^{2-}$

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{K_w}{K_a}} \times M$$

$$[OH^-] = \sqrt{\frac{10^{-14}}{4.5 \times 10^{-1} \times 3.5 \times 10^{-3}}} \times 1$$

$$[OH^-] = \sqrt{6.35 \times 10^{-12}}$$

$$[OH^-] = 2.5 \times 10^{-6}$$

$$pOH = 5.6$$

$$pH = 8.4$$

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Hasil Pengujian XRD

Match! Phase Analysis Report

Sample: SS304 Sensitisasi HCl 1M

Sample Data
 File name: SS304 Sensitisasi HCl 1M.rtd
 File path: E:\Dokumen\Tugas Akhir\Hasil XRD\SS304 Sensitisasi HCl 1M
 Data collected: Nov 22, 2017 07:04:57
 Data range: 10.140° - 90.131°
 Number of points: 4788
 Step size: 0.017
 Rietveld refinement converged: No
 Alpha2 subtracted: Yes
 Background subtr.: Yes
 Data smoothed: Yes
 2theta correction: 0.14°
 Radiation: X-rays
 Wavelength: 1.540598 Å

Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	54.6	Iron	Fe
B	22.8	Magnetite	Fe ₃ O ₄
C	22.6	Lawrencite	Cl ₂ Fe
	89.8	Unidentified peak area	

A: Iron (54.6 %)

Formula sum: Fe
 Entry number: 96-001-3488
 Figure-of-Merit (FoM): 0.821959
 Total number of peaks: 8
 Peaks in range: 6
 Peaks matched: 6
 Intensity scale factor: 0.88
 Space group: Im-3 m
 Crystal system: cubic
 Unit cell: a = 2.9280 Å
 V_c: 13.38
 Calc. density: 7.389 g/cm³
 Reference: Basinski Z. S., Hume-Rothery W., Sutton A. L., "The lattice expansion of iron. Locality: syntheticSample: at T = 1705 K", Proceedings of the Royal Society of London A 229, 459-467 (1955)

B: Magnetite (22.8 %)

Formula sum: Fe₃O₄
 Entry number: 96-000-5817
 Figure-of-Merit (FoM): 0.750300
 Total number of peaks: 68
 Peaks in range: 34
 Peaks matched: 32
 Intensity scale factor: 0.17
 Space group: Fd-3 m
 Crystal system: cubic
 Unit cell: a = 8.3153 Å
 V_c: 6.24
 Calc. density: 5.349 g/cm³
 Reference: Finger L. W., Hazen R. M., Hofmeister A. M., "High-pressure crystal chemistry of spinel (MgAl₂O₄) and magnetite (Fe₃O₄): comparisons with silicate spinelsSample: P = 45 kbar", Physics and Chemistry of Minerals 13, 215-220 (1986)

C: Lawrencite (22.6 %)

Formula sum: Cl₂Fe
 Entry number: 96-001-5714
 Figure-of-Merit (FoM): 0.737775
 Total number of peaks: 76
 Peaks in range: 64
 Peaks matched: 53
 Intensity scale factor: 0.14
 Space group: R-3 m
 Crystal system: trigonal (hexagonal axes)
 Unit cell: a = 3.5800 Å c = 17.5400 Å
 V_c: 5.31
 Calc. density: 3.241 g/cm³
 Reference: Harpin A., Mariel P., "Etude par diffraction de neutrons a 4.2 K de la structure antiferromagnetique de Cl₂FeNote: T = 4.2 K", Comptes Rendus Hebdomadaires des Seances de l'Acad. 245, 650-653 (1957)

Search-Match

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Settings
 Reference database used COD-Inorg REV198327 2017.07.03
 Automatic zero-point adaptation Yes
 Minimum figure-of-merit (FoM) 0.60
 2theta window for peak corr. 0.30 deg.
 Minimum rel. int. for peak corr. 1
 Parameter influence 2theta 0.50
 Parameter influence intensities 0.50
 Parameter multiphase phase(s) 0.50

Selection Criteria

Elements:

Elements of which at least one must be present: O, Cr

Elements that must NOT be present: All elements not mentioned above

Compound type:

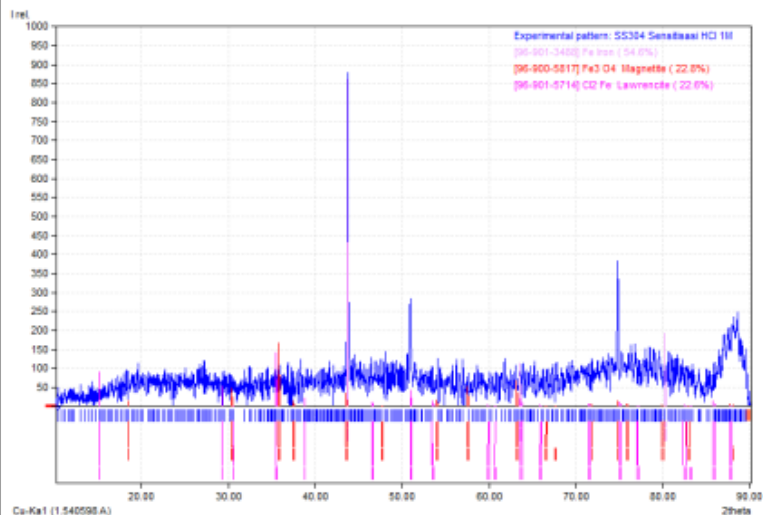
Inorganic compounds only

Integrated Profile Areas

Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	147328	100.00%
Background radiation	61149	41.51%
Diffraction peaks	86179	58.49%
Peak area belonging to selected phases	15065	10.23%
Peak area of phase A (Iron)	9040	6.14%
Peak area of phase B (Magnetite)	8173	5.55%
Peak area of phase C (Lawsonite)	11019	7.48%
Unidentified peak area	132263	89.77%

Diffraction Pattern Graphics



Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Match! Phase Analysis Report

Sample: SS 304 Non Sensitisasi H2SO4

Sample Data	
File name	SS 304 Non Sensitisasi H2SO4.Ltd
File path	E:\Dokumen\Tugas Akhir\Hasil XRD\SS 304 Non Sensitisasi H2SO4
Data collected	Nov 22, 2017 07:04:57
Data range	9.950° - 89.341°
Number of points	4788
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	Yes
Data smoothed	Yes
2theta correction	-0.05°
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	61.0	Eskolaite	Cr2 O3
B	39.0	Maghemite	Fe2 O3
	87.3	Unidentified peak area	

A: Eskolaite (61.0 %)

Formula sum	Cr2 O3
Entry number	96-001-5779
Figure-of-Merit (FoM)	0.769901
Total number of peaks	33
Peaks in range	27
Peaks matched	27
Intensity scale factor	0.19
Space group	R-3 c
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a= 4.9128 Å c= 13.4689 Å
Volume	2.56
Calc. density	5.378 g/cm ³
Reference	Finger L. W., Hazen R. M., "Crystal structure and isothermal compression of Fe2O3, Cr2O3, and V2O5 to 50 kbar/Note: P = 56.8 kbar", Journal of Applied Physics 51, 5362-5367 (1980)

B: Maghemite (39.0 %)

Formula sum	Fe2 O3
Entry number	96-001-2693
Figure-of-Merit (FoM)	0.713679
Total number of peaks	192
Peaks in range	155
Peaks matched	103
Intensity scale factor	0.19
Space group	P 43 21 2
Crystal system	tetragonal
Unit cell	a= 8.3396 Å c= 8.3220 Å
Volume	3.85
Calc. density	4.886 g/cm ³
Reference	Greaves C., "A powder neutron diffraction investigation of vacancy ordering and covalency in gamma-Fe2O3 Locality: synthetic Sample: T = 4 K", Journal of Solid State Chemistry 49, 325-333 (1983)

Search-Match

Settings	
Reference database used	COD-Inorg REV198327 2017.07.03
Automatic zero-point adaptation	Yes
Minimum figure-of-merit (FoM)	0.60
2theta window for peak corr.	0.30 deg.
Minimum rel. int. for peak corr.	1
Parameter influence 2theta	0.50
Parameter influence intensities	0.50
Parameter multiphase/single phase(s)	0.50

Selection Criteria

Elements:

Elements of which at least one must be present:	H, O, Cr, Fe, Ni
Elements that must NOT be	All elements not mentioned above

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



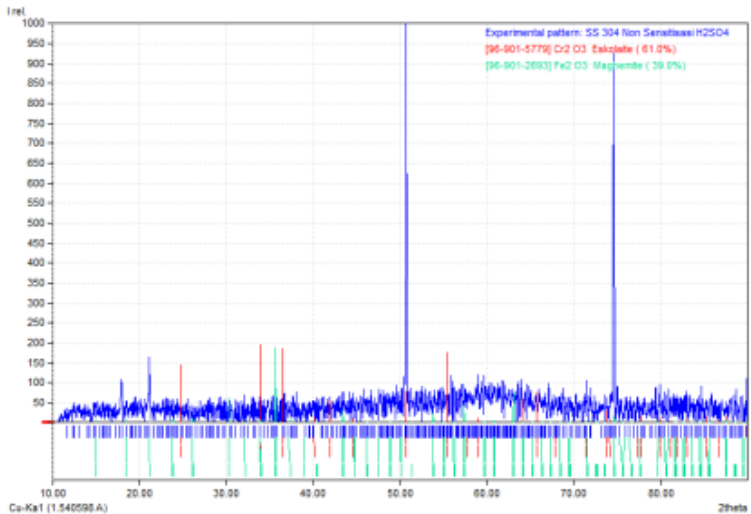
present:

Integrated Profile Areas

Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	144465	100.00%
Background radiation	39332	27.23%
Diffraction peaks	105133	72.77%
Peak area belonging to selected phases	18401	12.74%
Peak area of phase A (Eskolaite)	23977	16.60%
Peak area of phase B (Magnesite)	20544	14.29%
Unidentified peak area	126054	87.26%

Diffraction Pattern Graphics



Match! Copyright © 2003-2017 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany



Match! Phase Analysis Report

Sample: SS304 Sensitisasi H2SO4 1M

Sample Data
 File name: 96304 Sensitisasi H2SO4 1M.rst
 File path: E:\Dokumen\Tugas Akhir\Hasi XRD\SS304 Sensitisasi H2SO4 1M
 Data collected: Nov 22, 2017 07:04:57
 Data range: 9.930° - 89.921°
 Number of points: 4788
 Step size: 0.017
 Rietveld refinement converged: No
 Alpha2 subtracted: Yes
 Background subtr.: Yes
 Data smoothed: Yes
 2theta correction: -0.07°
 Radiation: X-rays
 Wavelength: 1.540598 Å

Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	50.0	Fe3O4	Fe3 O4
B	8.6	Iron	Fe
C	41.3	Cr23 C6	Cr23 C6
	80.7	Unidentified peak area	

A: Fe3O4 (50.0 %)
 Formula sum: Fe3 O4
 Entry number: 96-000-2027
 Figure-of-Merit (FOM): 0.823720
 Total number of peaks: 278
 Peaks in range: 218
 Peaks matched: 138
 Intensity scale factor: 0.52
 Space group: P b c m
 Crystal system: orthorhombic
 Unit cell: a = 2.7992 Å b = 9.4097 Å c = 9.4832 Å
 V/c: 3.84
 Calc. density: 5.157 g/cm³
 Reference: Fei Y., Frost D. J., Mao H. K., Prewitt C. T., Hausermann D., "In situ structure determination of the high-pressure phase of Fe3O4 Sample data recorded at P = 23.96 GPa, T = 823 K", American Mineralogist 84, 203-206 (1999)

B: Iron (8.6 %)
 Formula sum: Fe
 Entry number: 96-000-0664
 Figure-of-Merit (FOM): 0.831773
 Total number of peaks: 3
 Peaks in range: 3
 Peaks matched: 3
 Intensity scale factor: 0.31
 Space group: I m -3 m
 Crystal system: cubic
 Unit cell: a = 2.8350 Å
 V/c: 13.17
 Calc. density: 8.140 g/cm³
 Reference: Wilburn D. R., Bassett W. A., "Hydrostatic compression of iron and related compounds: An overview P = 57 Kbar", American Mineralogist 63, 591-596 (1978)

C: Cr23 C6 (41.3 %)
 Formula sum: Cr23 C6
 Entry number: 96-210-7333
 Figure-of-Merit (FOM): 0.818220
 Total number of peaks: 126
 Peaks in range: 64
 Peaks matched: 58
 Intensity scale factor: 0.58
 Space group: F m -3 m
 Crystal system: cubic
 Unit cell: a = 10.6500 Å
 V/c: 5.14
 Calc. density: 6.972 g/cm³
 Reference: Bowman A.L., Arnold G.P., Storms E.K., Harsen N.G., "The crystal structure of Cr23 C6", Ada Crystallographica B (24,1968-38,1962) 28, 3102-3103 (1972)

Search-Match

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Settings
 Reference database used COD-Inorg REV198327 2017.07.03
 Automatic zero-point adaptation Yes
 Minimum figure-of-merit (FoM) 0.60
 2theta window for peak corr. 0.30 deg.
 Minimum rel. int. for peak corr. 1
 Parameter/influence 2theta 0.50
 Parameter/influence intensities 0.50
 Parameter multiphase/single phase(s) 0.50

Selection Criteria

Elements:

Elements of which at least one must be present:

H, C, O, Si, C₂, Fe, Ni

Elements that must NOT be present:

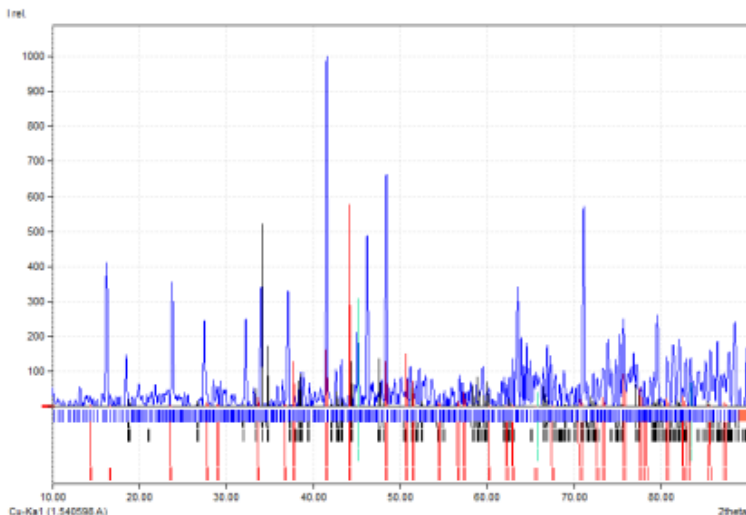
All elements not mentioned above

Integrated Profile Areas

Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	27365	100.00%
Background radiation	110	0.40%
Diffraction peaks	27256	99.60%
Peak area belonging to selected phases	5275	19.26%
Peak area of phase A (Fe ₃ O ₄)	4943	18.06%
Peak area of phase B (Iron)	980	3.58%
Peak area of phase C (Cr ₂ O ₃ Cr ₆)	5793	21.17%
Unidentified peak area	22090	80.72%

Diffraction Pattern Graphics



Match! Copyright © 2003-2017 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Match! Phase Analysis Report

Sample: SS304 Non Sensitisasi Na2S2O2

Sample Data

File name	SS304 Non Sensitisasi Na2S2O2.rd
File path	E:\Dokumen\Tugas Akhir\Hasil XRD\SS304 Non Sensitisasi Na2S2O2
Data collected	Nov 22, 2017 07:04:57
Data range	10.000° - 89.991°
Number of points	4788
Step size	0.017
Rietveld refinement converged	No
Alpha2 subtracted	Yes
Background subtr.	Yes
Data smoothed	Yes
Radiation	X-rays
Wavelength	1.540598 Å

Matched Phases

Index	Amount (%)	Name	Formula sum
A	91.6	Iron	Fe
B	5.5	Iron	Fe
C	3.0		Fe
D	0.0	Eskolaite	Cr2 O3
	91.6	Unidentified peak area	

A: Iron (91.6 %)

Formula sum	Fe
Entry number	96-900-6657
Figure-of-Merit (FoM)	0.751147
Total number of peaks	7
Peaks in range	5
Peaks matched	1
Intensity scale factor	3.32
Space group	P 63/m m c
Crystal system	hexagonal
Unit cell	a= 2.3470 Å c= 3.7970 Å
I/c	8.24
Calc. density	10.240 g/cm ³
Reference	Dubrovinsky L. S., Lazor P., Saxena S. K., Haggkvist P., Weber H. P., Le Bihan T., Hausermann D., "Study of laser heated iron using third generation synchrotron X-ray radiation facility with imaging plate at high pressuresSample: epsilon iron phase: P = 61 GPa, T = 300 K", Physics and Chemistry of Minerals 26 , 539-545 (1999)

B: Iron (5.5 %)

Formula sum	Fe
Entry number	96-901-4790
Figure-of-Merit (FoM)	0.000000
Total number of peaks	8
Peaks in range	3
Peaks matched	0
Intensity scale factor	0.23
Space group	F m -3 m
Crystal system	cubic
Unit cell	a= 3.5210 Å
I/c	9.62
Calc. density	8.496 g/cm ³
Reference	Nishihara Y., Nakajima Y., Akashi A., Tsujino N., Takahashi E., Funakoshi K., Higo Y., "Isothermal compression of face-centered cubic ironNote: gamma iron, Sample M620, P = 17.59 GPa, T = 1273 K", American Mineralogist 97 , 1417-1420 (2012)

C: Fe (3.0 %)

Formula sum	Fe
Entry number	96-720-4905
Figure-of-Merit (FoM)	0.000000
Total number of peaks	4
Peaks in range	3
Peaks matched	0
Intensity scale factor	0.19
Space group	I m -3 m
Crystal system	cubic
Unit cell	a= 2.8860 Å
I/c	14.63
Calc. density	7.716 g/cm ³
Reference	Laura Le?n-Reina, Enrique R. Losilla, Mar?a Mart?nez-Lara, Sebasti?n Bruque, Miguel A. G. Aranda, "Interstitial oxygen conduction in lanthanum oxy-apatite electrolytes", J. Mater. Chem. 14 (7), 1142-1149 (2004)

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



D: Eskolaite (0.0 %)

Formula sum	C ₂ O ₃
Entry number	95-001-5779
Figure-of-Merit (FOM)	0.970797
Total number of peaks	33
Peaks in range	27
Peaks matched	1
Intensity scale factor	0.00
Space group	R-3 c
Crystal system	trigonal (hexagonal axes)
Unit cell	a = 4.9128 Å c = 13.4689 Å
Uc	2.56
Calc. density	5.378 g/cm ³
Reference	Finger L. W., Hazen R. M., "Crystal structure and isothermal compression of Fe ₂ O ₃ , Cr ₂ O ₃ , and V ₂ O ₃ to 50 kbars/10 kbar", Journal of Applied Physics 51, 5362-5367 (1980)

Search-Match

Settings

Reference database used	COD-ICSD REV198527 2017.07.03
Automatic zeropoint adaptation	Yes
Minimum figure-of-merit (FOM)	0.60
2theta window for peak cent.	0.30 deg.
Minimum rel. int. for peak cent.	1
Parameter influence 2theta	0.50
Parameter influence intensities	0.50
Parameter multiple/single phase(s)	0.50

Selection Criteria

Elements:

Elements of which at least one must be present:	O, Cr, Fe
Elements that must NOT be present:	All elements not mentioned above

Integrated Profile Areas

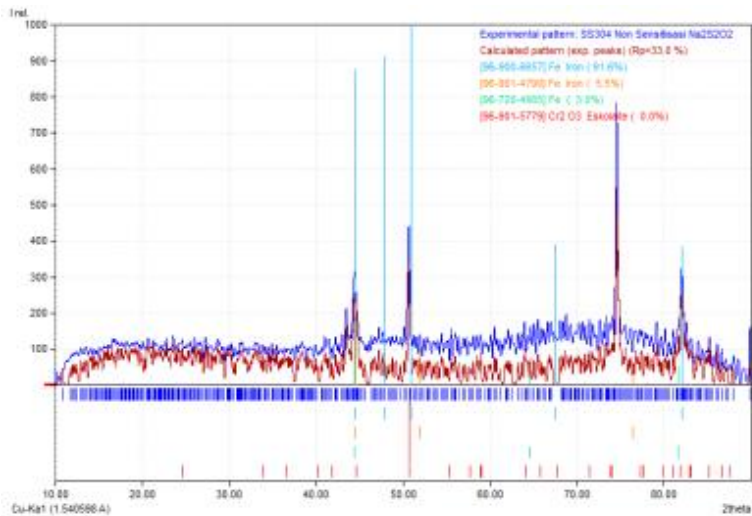
Based on calculated profile

Profile area	Counts	Amount
Overall diffraction profile	257884	100.00%
Background radiation	155343	60.24%
Diffraction peaks	102541	39.76%
Peak area belonging to selected phases	21727	8.43%
Peak area of phase A (Iron)	26597	10.35%
Peak area of phase B (Iron)	4446	1.72%
Peak area of phase C (Fe)	4496	1.74%
Peak area of phase D (Eskolaite)	0	0.00%
Unidentified peak area	236156	91.57%

Diffraction Pattern Graphics

Laporan Tugas Akhir

Departemen Teknik Material dan Metalurgi



Match! Copyright © 2003-2017 CRYSTAL IMPACT, Bonn, Germany



BIOGRAFI PENULIS



Penulis Bernama Lengkap Ridho Ma'ruf Quluq. Lahir di Tulungagung 19 April 1998. Penulis merupakan anak pertama dari 3 bersaudara pasangan Rokhmat dan Siti Faulina. Penulis menyelesaikan jenjang pendidikannya di SDN Punggul I Sidoarjo, SMP Negeri 1 Sidoarjo dan di SMA Negeri 1 Sidoarjo. Kemudian penulis melanjutkan studi S-1 di Teknik Material dan Metalurgi Fakultas Teknologi Industri – ITS pada tahun 2014.

Selama masa perkuliahan penulis aktif berorganisasi di dalam kampus. Pada tahun 2015/2016 penulis menjadi staff Departemen Kesejahteraan Mahasiswa HMMT FTI-ITS. Kemudian pada tahun 2016 penulis beberapa rekan mahasiswa lainnya mendirikan NACE SC-ITS (National Association of Corrosion Engineers Student Chapter) dan menjabat sebagai Vice-Chairman NACE SC-ITS. Selain beorganisasi penulis juga aktif di kegiatan laboratorium dengan pernah menjadi asisten laboratorium Fisika Material dan menjadi asisten laboratorium Korosi dan Analisa Kegagalan.

Penulis pernah melakukan kerja praktik di PT Pertamina MOR V fungsi Technical Services, Surabaya. Dan selama menjadi mahasiswa, penulis mendapatkan beasiswa PPA pada semester 3 dan 4 kemudian beasiswa Karya Salemba Empat (KSE) pada semester 5-7. Di departemen Teknik Material dan Metalurgi ini penulis mengambil Tugas Akhir dalam bidang studi Korosi dan Analisa Kegagalan.

Untuk nomor handphone dan email yang dapat dihubungi yaitu 082245606426 dan ridhomq@hotmail.com